


**INGENIERÍA EN GESTIÓN PETROLERA**
**PROYECTO DE GRADO**

# DISEÑO DEL PROCESO DE SELECCIÓN DE TRÉPANOS PARA EL CAMPO EL DORADO DE LA PROVINCIA CORDILLERA DEL DEPARTAMENTO DE SANTA CRUZ

**José René Yépez Justiniano**

**Para optar por el grado de licenciatura en Ingeniería en Gestión Petrolera**

**Santa Cruz - Bolivia**
**2015**

# Agradecimientos:

A nuestro DIVINO CREADOR, por su infinito amor, bondad y misericordia, por darnos la vida, las oportunidades y porque sin el nada es posible.

A mi amada madre, Gaby Justiniano F., por sus noches de desvelo, por su sacrificio, por su amor incondicional y por ser mi sustento cada día de mi vida, por guiarme por el camino del bien, de la responsabilidad y motivarme para lograr mis metas.

A mi querido padre René Yépez A., a mi hermana Lic. Gabriela Yépez J., y mi sobrina Danehia Gabriela Torres Y., por su amor incondicional y por ser mi fortaleza en los momentos de debilidad.
A mi querida universidad, por acogerme estos años de estudio y brindarme calidad en educación.

Al Ing. John Soria M. y al Ing. Javier Valdivia V., por todo el aprecio y colaboración, más que docentes fueron ejemplo de vida, consejeros y amigos.

A través de la Ing. Natalia Liachenko, agradecimiento especial a Y.P.F.B. corporación, por la información brindada que sirvió como base del presente estudio.

## *Dedicatoria:*

*-A mi sobrina Danehia y a las futuras generaciones de profesionales, para que este logro sea un ejemplo de constancia, sacrificio, estudio, esmero y responsabilidad.*

*-En especial a mis amados padres Gaby Justiniano F. y René Yépez A., en aprecio a su ardua labor de formación espiritual y moral, este es el resultado de años de esfuerzo, de alegrías y lágrimas; el mejor regalo que les puedo brindar.*

*José René Yépez Justiniano*

# ABSTRACT

| | |
|---|---|
| **TITULO:** | **: ”Diseño del proceso de selección de trépanos para el campo el dorado de la provincia cordillera del departamento de santa cruz”** |
| **AUTOR (ES)** | **: José René Yépez Justiniano** |

## PROBLEMÁTICA

Los costos operativos devengados en etapa de exploración y perforación son los más críticos y probablemente elevados en la etapa previa a la explotación del gas y petróleo, por consecuente un análisis de las herramientas a ser utilizadas acorde a las características geológicas es importante para asegurar una inversión y retorno favorable para las partes interesadas durante el ciclo de vida del pozo.

## OBJETIVO GENERAL

Realizar el estudio analítico-científico para evaluar si es posible optimizar el uso de trépanos, en qué medida cumple con las necesidades del cliente, reduciendo el coste operativo y asegurando la integridad de las herramientas utilizadas para este fin (perforación de pozo petrolífero) en el campo el Dorado.

## CONTENIDO

- ❖ El análisis teórico base del objeto de estudio
- ❖ La situación actual y análisis de datos proporcionados del campo
- ❖ Evaluación y/u optimización de acuerdo a los resultados obtenidos

| | |
|---|---|
| CARRERA | : “**Ingeniería en gestión petrolera”** |
| PROFESOR GUIA | : Ing. Javier Valdivia Vásquez |
| DESCRIPTORES O TEMAS | : Trépanos, Break-even point, Campo el Dorado, Selección, perforación, provincia Cordillera, Santa Cruz. |
| PERIODO DE INVESTIGACION | : Fase 1 (Ago-Oct/2013); Fase 2 (Mar-Sept/2014) |
| E-MAIL | : jryj21@gmail.com |

# ÍNDICE GENERAL

**CAPITULO I**

**INTRODUCCION**



**CAPITULO II**

**MARCO TEORICO**

# INDICE DE FIGURAS

## INDICE DE CUADROS

# CAPITULO I

# CAPITULO I

# INTRODUCCION

## 1.1. INTRODUCCION

En términos de actividad y producción económica, Santa Cruz es la región más importante del país, siendo sus principales rubros la producción de petróleo, de gas natural, caña de azúcar, algodón, maderas, soya, arroz, trigo, maíz y ganadería. En la ciudad de Santa Cruz de la Sierra existen también algunas considerables concentraciones industriales, entre las que se destacan los ingenios azucareros, las refinerías de petróleo, los silos y agroindustrias relacionadas a la soya, la industria lechera y sus derivados, la fabricación de materiales de construcción, muebles, cueros, conservas, bebidas y otras.

La industria petrolera es compleja, tanto en su concepción como en su diseño y operación. Es una industria que obligatoriamente debe utilizar alta tecnología y por lo tanto requiere de enormes montos financieros de inversión. La toma de decisiones para el desarrollo y la operación de esta industria, debe estar basada en los análisis técnico-económicos necesarios que justifiquen y aseguren la rentabilidad del proyecto y el retorno de la inversión.

De las diferentes etapas que constituyen el proceso de extracción, producción y comercialización de hidrocarburos, la perforación es una de las más importantes. Aproximadamente el 80% de la inversión para la extracción de hidrocarburos se destina a la exploración y desarrollo de perforaciones en un determinado yacimiento.

Para llevar a cabo la construcción de un pozo por medio del método de perforación “Rotary” se requiere utilizar, entre otras herramientas, trépanos para perforar la roca. Estos constituyen el elemento más importante de la sarta de perforación, ya que sin ellos sería imposible llevar a cabo dicha operación. Por tal motivo, es necesario diseñar un modelo que optimice la selección de trépanos para minimizar costos de inversión, tiempo de perforación y a su vez maximizar la eficiencia de los trépanos y la velocidad de penetración.

## 1.2. ANTECEDENTES

El Campo “El Dorado” se encuentra ubicado en el departamento de Santa Cruz, provincia Cordillera, fue descubierto en el año 1999-2000 por la compañía Pan American con la perforación del pozo DRD-X1001, descubridor de gas condensado de la Formación Iquiri, (devónico superior), arenisca guanacos, la profundidad final del pozo fue de 6750 m, (el más profundo en Bolivia en esa época). Posteriormente se perforó el pozo DRD-X1002, con resultados positivos productor del mismo reservorio. En el año 2004 se perforó el pozo DRD-1004, el mismo que resulto improductivo. En el año 2010 Chaco S.A perforo el pozo DRD-1005 con resultados favorables, productor de gas condensado de la Arenisca Guanacos Fm. Iquiri. En el Área se han perforado un total de 7 pozos, tres son productivos de la arenisca Guanacos (DRD-X1001, DRD-X1002 y DRD-1005), el resto fueron improductivos. La profundidad promedio de estos reservorios productores es de 4220 metros, La producción promedio por día actual de este campo es de 210 barriles de petróleo, 28 barriles de gasolina y 8.7 millones de pies cúbicos de gas. Toda la producción del campo es procesada en la Planta Percheles.[1]

De la revisión de los informes de perforación de algunos pozos de este campo, se pudo constatar la presencia de problemas operativos en los pozos DRD X-1001, DRD X-1004 y DRD 1005, que se conjetura pueden ser derivados de una deficiente selección de trépanos. Estos problemas son: Baja tasa de penetración, aprisionamiento y pesca de la herramienta, embotamiento de la herramienta, rotura de trépanos y/o de otras herramientas. También se nota que la mayoría se suceden en la fase de 8 ½” al atravesar las formaciones del Período Devónico.

## 1.3. PROBLEMA

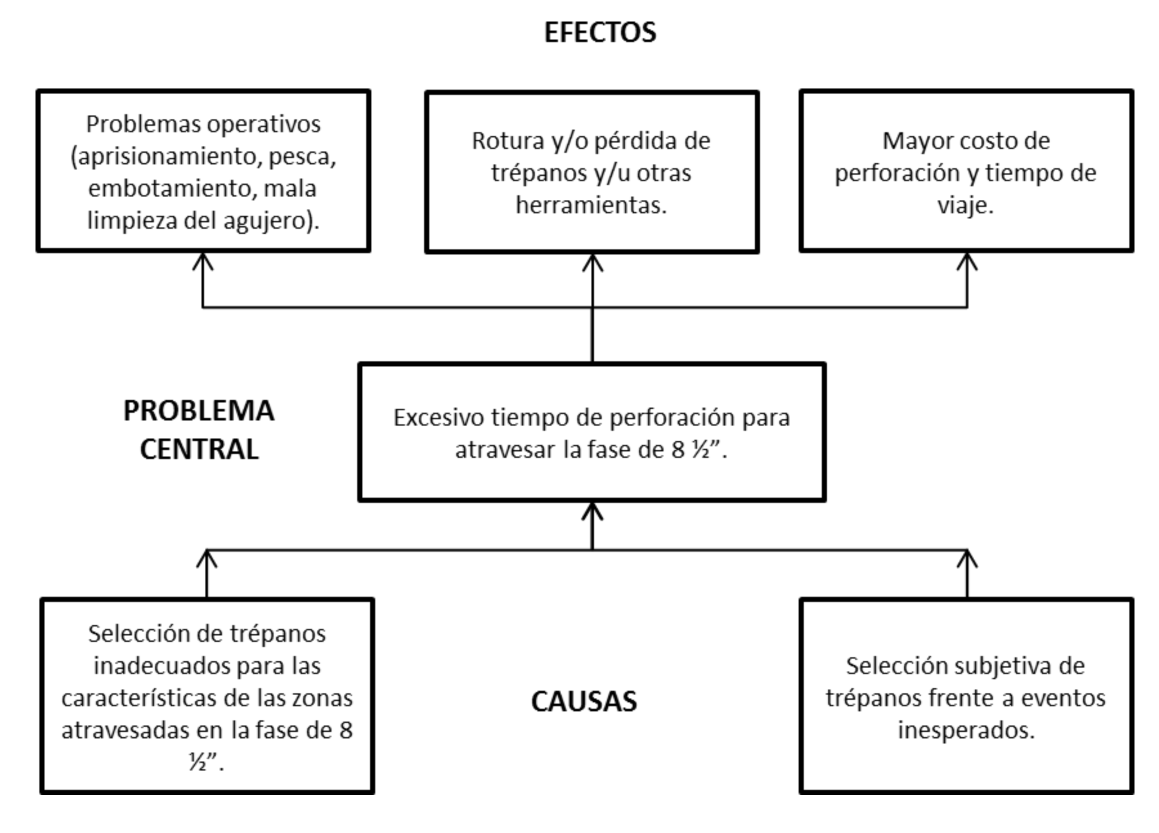
El problema central, base del presente estudio, está ilustrado mediante el siguiente esquema.

[1] http://www.ypfbchaco.com.bo/index.php/campos/el-dorado.html, (08 de Octubre del 2013)

### 1.3.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Durante la perforación de los pozos Dorado X-1001, Dorado X-1004 y Dorado 1005, la aplicación de programas de trépanos en la fase de 8 ½", resultaron con complicaciones al atravesar las formaciones del período Devónico, lo cual ha ocasionado problemas operativos (aprisionamiento, pesca, embotamiento de la sarta de perforación) que han derivado en mala limpieza del agujero, pérdidas de trépano, pérdida de tiempo, menor tasa de penetración, pérdida de la herramienta, haciendo finalmente que el pozo sea perforado fuera del tiempo estimado y probablemente con un mayor costo económico.

### 1.3.2. ÁRBOL DE PROBLEMA




**Fuente:** Elaboración propia

### 1.3.3. FORMULACION DEL PROBLEMA

Lo antecedido conlleva a formular la siguiente interrogante:

¿Cuál será la técnica aplicable a la selección de trépanos en el campo "El Dorado", para atravesar la fase de 8 ½", correspondiente al período Devónico, que permita optimizar el tiempo, los costos de perforación y la tasa de penetración?

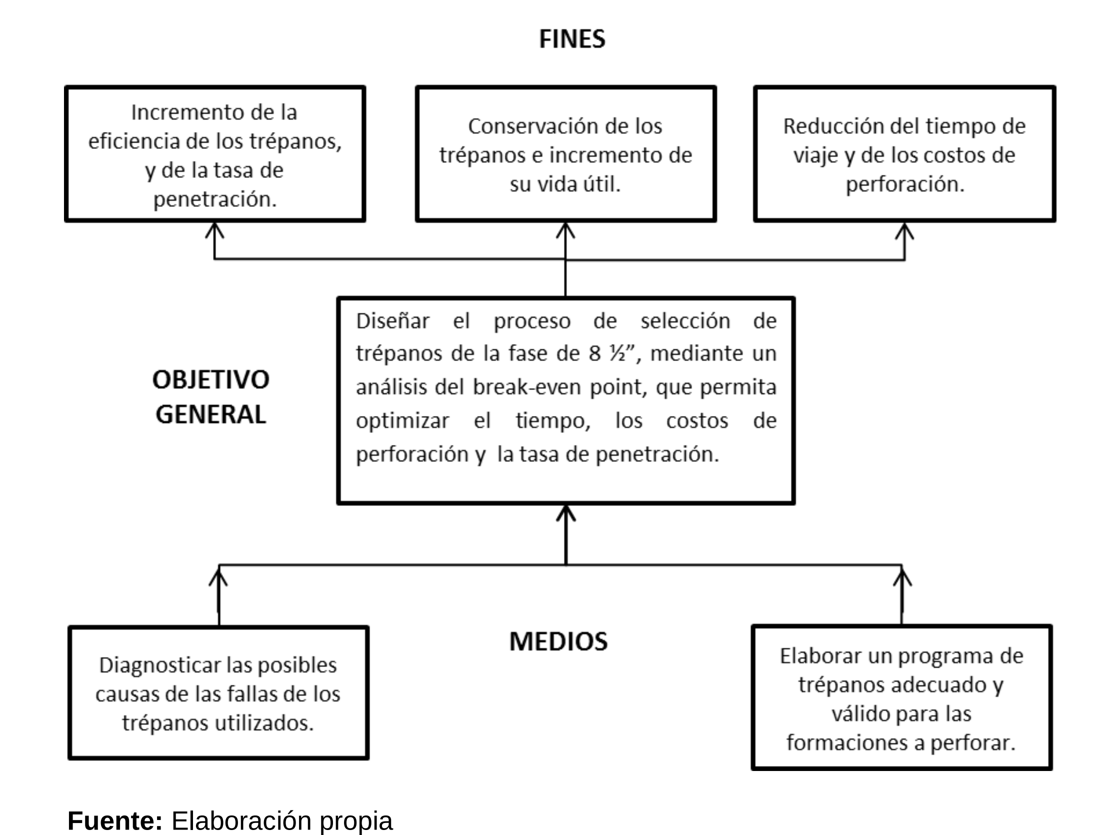
## 1.4. OBJETIVOS

A continuación se describen los objetivos del presente trabajo.

### 1.4.1. OBJETIVO GENERAL

Evaluar el proceso de selección de trépanos de la fase de 8 ½", mediante un análisis del break-even point, que permita determinar el tiempo, los costos de perforación y la tasa de penetración óptimos.

#### 1.4.1.1. Árbol de la Solución




**Fuente:** Elaboración propia

### 1.4.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Identificar las posibles causas de las fallas de los trépanos utilizados en los pozos mencionados.

- Elaborar un programa de trépanos adecuado y válido para las formaciones a perforar.
- Estimar el costo de perforación.
- Estimar el costo de la optimización de la perforación.
- Calcular la relación Costo- Beneficio.

## 1.5. JUSTIFICACION

El presente estudio está justificado de forma técnica, económica, social y personal.

### 1.5.1. JUSTIFICACION TECNICA

El presente proyecto, permitirá determinar la eficiencia del trépano, incrementando la tasa de penetración, logrando que la perforación sea más eficiente y efectiva.

### 1.5.2. JUSTIFICACION ECONOMICA

Debido a que los costos diarios del equipo de perforación son elevados (aproximadamente entre "$us 19 mil y $us 40 mil"[2]), es de suma importancia optimizar el programa de trépanos para la perforación de pozos, pues al reducir el tiempo de perforación, reduciremos el costo diario del equipo.

### 1.5.3. JUSTIFICACION SOCIAL

La reducción del tiempo de perforación, con su consecuente reducción de costos diarios de perforación, traerá consigo beneficios para todos los bolivianos, pues al ser Y.P.F.B. una empresa de los bolivianos, podrá utilizar el dinero ahorrado en la perforación, en la implementación de programas sociales.

### 1.5.4. JUSTIFICACION PERSONAL

El presente trabajo permitirá aplicar todos los conocimientos adquiridos en la formación académica, para un óptimo desempeño profesional.

[2] http://www.hidrocarburosbolivia.com/bolivia-mainmenu-117/ypfb-petroleras-mainmenu-118/45546-petroleras-en-bolivia-pierden-con-bloqueos.html, (5 de Octubre del 2011)

## 1.6. DELIMITACION

El presente trabajo está delimitado espacial, temporal y sustantivamente.

### 1.6.1. DELIMITACION ESPACIAL

El presente estudio se aplicó en el campo “El Dorado”, ubicado en la provincia Cordillera a 90 km al sur de la ciudad de Santa Cruz de la Sierra.

Las coordenadas de los pozos en cuestión, se muestran en el cuadro N° I. I:

**CUADRO N° I. I**

**UBICACIÓN DE LOS POZOS BASE DEL PROYECTO**

| Pozo | Coordenadas UTM | |
|---|---|---|
| | Coordenada X | Coordenada Y |
| DRD X-1001 | 490075.00 m E | 7965190.00 m N |
| DRD X-1004 | 488700.00 m E | 7963400.00 m N |
| DRD-1005 | 490403.00 m E | 7963485.00 m N |

**Fuente:** Informes de perforación de YPFB

**FIGURA N° I. I**

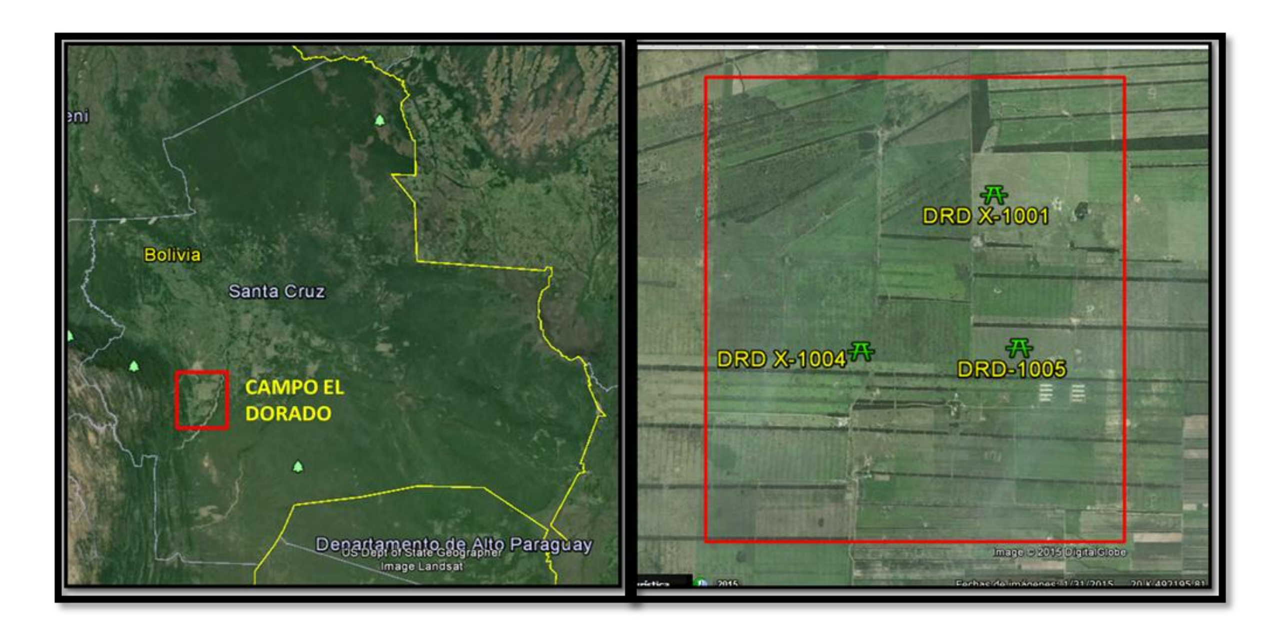
**MAPA DE UBICACIÓN DE LA PROVINCIA CORDILLERA**




**Fuente:** http://www.camiri.info/cordillera.php

**FIGURA N° I. II**

**MAPA DE UBICACIÓN DEL CAMPO "EL DORADO"**




**Fuente:** Google Earth

### 1.6.2. DELIMITACION TEMPORAL

La elaboración del presente documento se desarrolló en 10 meses desde la presentación del perfil propuesto hasta su conclusión final en setiembre del año en curso, empleándose datos correspondientes a pozos perforados en el campo “El Dorado” desde 1999 hasta el año 2010.

### 1.6.3. DELIMITACION SUSTANTIVA

El presente estudio se enmarcará dentro de los siguientes puntos:

- Tipos de trépanos.
- Tipos de formación.
- Código IADC.
- Análisis del Break-even point.

## 1.7. METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION

El presente estudio está desarrollado según la siguiente metodología.

### 1.7.1. METODO DE ESTUDIO

El presente proyecto está enfocado cuantitativa y cualitativamente.

#### 1.7.1.1. Método Cuantitativo

La metodología cuantitativa es aquella que permite examinar los datos de manera científica, o más específicamente en forma numérica, generalmente con ayuda de herramientas del campo de la estadística.

Para que exista metodología cuantitativa se requiere que entre los elementos del problema de investigación exista una relación cuya naturaleza sea representable por algún modelo numérico ya sea lineal, exponencial o similar. Es decir, que haya claridad entre los elementos de investigación que conforman el problema, que sea posible definirlo, limitarlos y saber exactamente dónde se inicia el problema, en qué dirección va y qué tipo de incidencia existe entre sus elementos.

El presente estudio es cuantitativo porque se hará un análisis de los costos de perforación en pozos anteriores, para minimizar los mismos y optimizar el programa de trépanos.

#### 1.7.1.2. Método Cualitativo

La metodología cualitativa, como indica su propia denominación, tiene como objetivo la descripción de las cualidades de un fenómeno. Busca un concepto que pueda abarcar una parte de la realidad. No se trata de probar o de medir en qué grado una cierta cualidad se encuentra en un cierto acontecimiento dado, sino de descubrir tantas cualidades como sea posible.

El presente estudio también es cualitativo porque se evaluarán las características de los trépanos utilizados, y se identificarán cualitativamente las causas de las fallas en el programa de trépanos.

### 1.7.2. TIPO DE INVESTIGACION

La investigación del presente trabajo está clasificada según el tiempo de ocurrencia y registro de los hechos; y según el análisis y alcance de los resultados.

#### 1.7.2.1. Según el tiempo de ocurrencia y registro de los hechos

**a) Investigación retrospectiva**

Se registra información sobre los hechos ocurridos con anterioridad al diseño del estudio y el registro continuo según los hechos van ocurriendo.

El presente es un estudio retrospectivo porque la información recopilada, se basa en los archivos de pozos perforados anteriormente.

#### 1.7.2.2. Según el análisis y alcance de los resultados

**a) Investigación Exploratoria**

Los estudios exploratorios están dirigidos a lograr el esclarecimiento y delimitación de problemas no bien definidos. Es a partir de los resultados de éstos estudios que podrán proyectarse investigaciones que aporten conocimientos más sólidos sobre el problema en cuestión. Este tipo de estudios se sustenta en una profunda revisión de la bibliografía y en los criterios de expertos.

El presente estudio es exploratorio, porque a partir de los resultados del análisis de los pozos perforados anteriormente, se tratará de anticipar a los problemas en perforaciones futuras en el campo “El Dorado”.

### 1.7.3. FUENTES DE INFORMACION

#### 1.7.3.1. Fuentes primarias

Las fuentes para la recopilación de información son personal especializado en el tema, de la empresa Y.P.F.B. Corporación y de otras empresas comercializadoras de trépanos. Para la recopilación de esta información se utilizará la técnica de:

**a) Entrevistas.**

Se realizaron preguntas estructuradas a especialistas en la materia, que trabajan en Y.P.F.B. Corporación y otras empresas encargadas de comercializar trépanos.

#### 1.7.3.2. Fuentes Secundarias

La recopilación de información está sustentada en las siguientes fuentes.

**a) Informes de perforación.**

Se revisaron informes de perforación elaborados por las empresas perforadoras, que se encuentran en los archivos de Y.P.F.B. Corporación, referidos a la perforación de los pozos DRD X-1001(Pan American Energy), DRD X-1002 (Pan American Energy), DRD X-1004 (Chaco S.A.), DRD-1005 (Empresa petrolera Y.P.F.B. Chaco).

**b) Libros.**

Se buscó información en libros de perforación y de selección de trépanos.

**c) Manuales.**

Se revisó manuales de perforación y selección de trépanos.

**d) Catálogos.**

Se buscaron catálogos de trépanos para revisar las características y los costos.

**e) Internet.**

Se hizo uso de la herramienta de información en Internet.

## 1.8. ALCANCE DEL PROYECTO

El alcance de este proyecto contempla el estudio en el programa de trépanos “El Dorado”, sin embargo el contenido de estudio puede ser aplicado genéricamente a cualquier programa de perforación en el área de “gas y petróleo”, estipulado en el plazo fijado durante la elaboración del perfil y posterior desarrollo de este proyecto.

# CAPITULO II

# CAPITULO II

# MARCO TEORICO

## 2.1. PROBLEMAS OPERATIVOS

A continuación se describen los principales problemas operativos que se pueden encontrar durante la perforación de un pozo.

### 2.1.1. PRESION

Se produce por la entrada en el pozo de fluidos de formación, gases e hidrocarburos que pueden combustionar al llegar a la superficie produciendo un reventón (kick). Es uno de los problemas de mayor incidencia en las operaciones y puede llegar a ser fatal si no se tiene el control adecuado. Su primer control es la densidad del lodo.

Las causas comunes de reventones son:

- Deficiencia en el llenado de pozo durante viajes
- Densidad inapropiada del lodo
- Perdida de circulación

Uno de los equipos que previenen reventones son las válvulas preventoras conocidas también como BOP (Blow out Preventor).

**FIGURA N° II. I**

**BOP**



**Fuente:** Curso básico de perforación (Weatherford)
"Documento digital no publicado"

### 2.1.2. PEGA DE TUBERÍA (STICKING)

Se denomina así al evento en la operación en el cual no se puede rotar la tubería o sarta, ni mover hacia arriba o hacia abajo, este puede generar tiempo y costos improductivos.

Las causas más comunes son:

- ❖ Presión diferencial
- ❖ Causas Mecánicas
  - Formaciones inestables
  - Limpieza inadecuada del agujero
  - Pescas en el agujero o revestimiento colapsado
  - etc.

### 2.1.3. TREPANOS O BARRENAS

Los problemas operativos con los trépanos comúnmente encontrados son:

#### 2.1.3.1. Barrena embolada

Esto sucede cuando se está perforando en formaciones suaves (lutitas), con exceso de peso, limpieza insuficiente. Cuando una barrena embolada se sigue operando se planchan los conos.

Recomendaciones prácticas para desembotar una barrena:

**a)** Suspenda la rotación.

**b)** Cargue de 5 a 10 toneladas sobre barrena en el fondo.

**c)** Mantenga el bombeo constante durante 5 minutos.

**d)** Aplique leves giros de rotaria, para ayudar al desprendimiento arcilla en los cortadores de la barrena.

**e)** Levante la sarta 2 a 5 m arriba del fondo y aplique alta rotación para lavar la barrena.

**f)** Reanude la perforación aplicando el mínimo peso, alta rotación y óptimo gasto.

**2.1.3.2. Desprendimiento de toberas**

Puede suceder por las siguientes causas:

- Candados o seguros en mal estado.
- Por lavarse por presión al utilizar lodos con alto contenido de sólidos abrasivos o arenas.

En un desprendimiento de tobera se refleja un decrecimiento de presión inicial el cual persiste sin incrementarse. Al observar un decremento de presión se debe verificar primeramente el equipo superficial para descartar cualquier anomalía.

Si el equipo superficial está en condiciones y la pérdida de presión no se incrementa, se puede continuar perforando; en caso de que la pérdida de presión se incremente, se debe suspender de inmediato la perforación y sacar para revisar la sarta.

**2.1.3.3. Desgaste prematuro en el trépano**

Se sucede cuando se utiliza un trépano inadecuado para la formación que se está perforando, por consecuente:

Cuando se perforan formaciones abrasivas, esto ocasiona agujeros de diámetro reducido que obligan a repasar el intervalo perforado. Al bajar con una barrena nueva (a pleno calibre) si no se toma en cuenta esta condición puede ocasionar un acuñamiento de la sarta.

En formaciones abrasivas se recomienda usar trépanos con protección al calibre.

**2.1.3.4. Toberas tapadas.**

Esta condición de toberas tapadas se puede dar:

- Cuando existe alto contenido de sólido en el sistema.
- Cuando se recirculan materiales extraños en el fluido de perforación (grava gruesa, pedazos de madera, papel, plástico, etc.)
- Al no utilizar los cedazos en las salidas de descarga de las bombas.

Desprendimiento de cono; la falla de los conos de la barrena con el siguiente desprendimiento de los mismos ocurren por el desgaste excesivo de los valeros cuyas causa principales son:

- Horas excesivas de rotación.
- Pesos aplicados sobre trépano altos.
- Erosión por sólidos en el fluido de perforación.
- Erosión por gastos excesivos de circulación.
- Corrosión por la presencia de compuestos de azufre en el lodo.

Es recomendable llevar una estadística de tiempo y grafica de costo por metro contra tiempo de perforación para optimizar el rendimiento de las barrenas.

## 2.2. PESCA

La pesca se define como cualquier objeto indeseable como ser: una tubería, herramientas, u otros que no pueden ser removidos del pozo por medios convencionales o prácticas ordinarias. Por ejemplo  el bajar un magneto o imán para remover un cono perdido de una barrena se denomina pesca.

Herramientas y técnicas especiales han sido desarrolladas como la mencionada anteriormente para "pescar" o retirar estos objetos, si es posible, del pozo de tal forma que las operaciones de perforación puedan ser continuadas.

El tiempo de pesca indirecto es aquel requerido para ganar la profundidad estando en modo de perforación durante el tiempo en el cual se desenvuelve la pesca. Por ejemplo si en el día número 5 de perforación a una profundidad de 5000 pies y se

pierde y posteriormente 500 pies de profundidad son perdidos, y si en el día número 20 el pozo es perforado nuevamente a 5000 pies, entonces el tiempo de pesca es de 15 días.

El tiempo de pesca directo es el tiempo en el cual se intenta remover el pescado (objetivo). En el ejemplo anterior el tiempo necesario para ganar los 500 pies perdidos de profundidad no se considera como tiempo directo de pesca.

El proceso de pesca o “fishing” implica costos de equipo no deseados para la compañía operadora.

Existen tres tipos mayores de operaciones de pesca. Estas serían:

- Recuperación de objetos no perforables desde el fondo del pozo.
- Recuperación de una sección de la sarta de perforación que fue dejada en el pozo como consecuencia de una rotura.
- Liberar la sarta de perforación aprisionada en el pozo.

### 2.2.1. OBJETOS EN EL FONDO DEL POZO

Estos objetos pueden provenir de fallas en el trépano que deja su(s) cono(s) y rodamientos. A veces inadvertidamente se dejan caer en el fondo del pozo pequeñas herramientas manuales. En algunas ocasiones se cae una sección de la sarta de perforación durante las maniobras de sacar o bajar al pozo. Estos problemas se consideran que han creado una “pesca”. Para recuperar estos objetos, se han desarrollado una variedad de herramientas.

La elección de herramientas de pesca es dictada por el tamaño y la forma de la pesca, la severidad anticipada del problema y la experiencia del personal encargado. En años pasados el jefe del pozo y los perforadores afrontaban estos problemas casi exclusivamente y su propia herramienta era su ingenio. La mayoría de estos trabajos, hoy en día, son conducidos por compañías de servicio, las que ofrecen una línea completa de herramientas de pesca y operadores de pesca experimentados en calidad de renta. Muchos de los trabajos de pesca son

encomendados a estas compañías quienes colaboran y aconsejan al jefe de pozo hasta completar el trabajo.

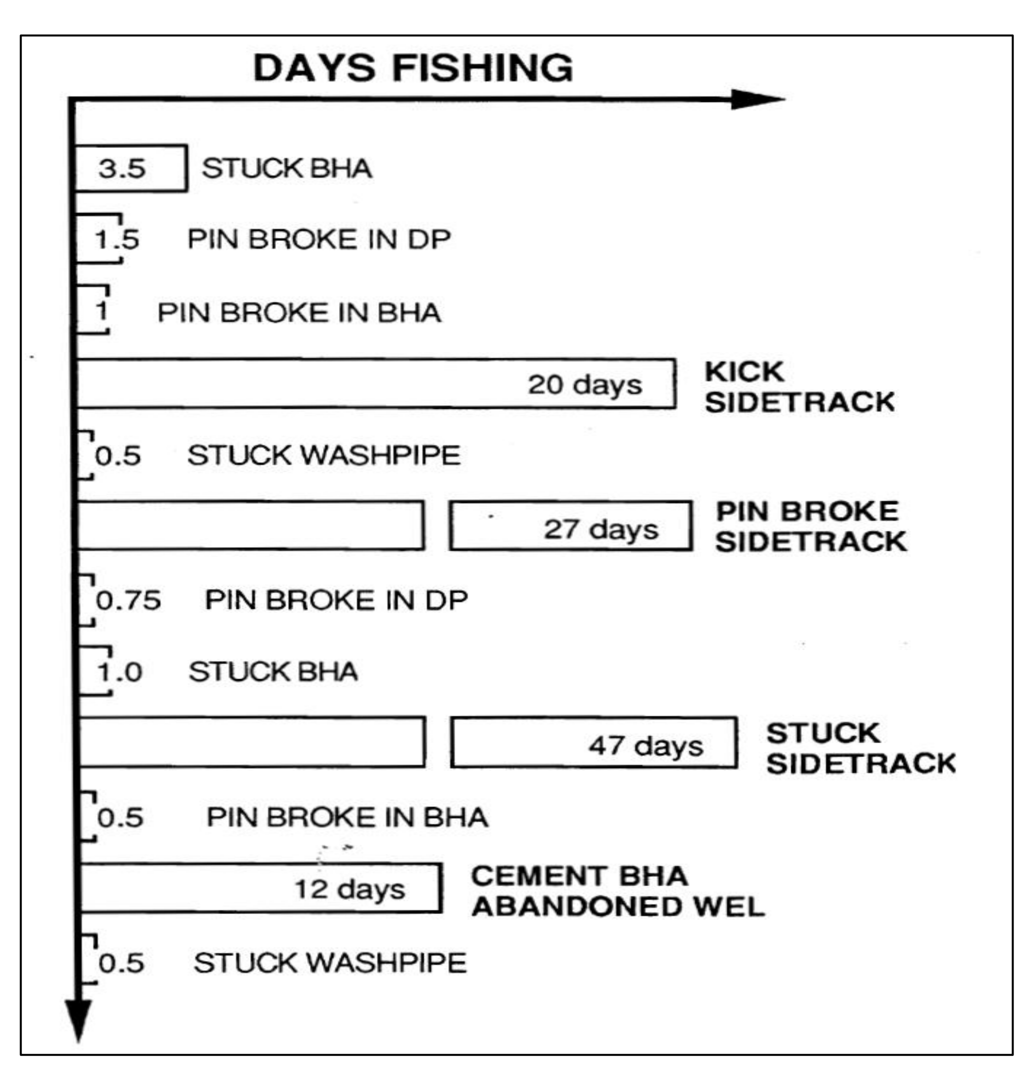
### 2.2.2. METODOS MÁS PRACTICADOS DE PESCA

Existen al menos tres métodos muy populares y utilizados para decidir si es necesaria la pesca o no.

#### 2.2.2.1. Pesca no mayor a dos días sin progreso

**FIGURA N° II. II**

**DÍAS ACUMULADOS HASTA PESCA O CAMBIO DE OPERACIÓN**




**Fuente:** Advanced oil well drilling engineering[3]

[3] MITCHELL, Dr. Bill, Advanced oil will drilling engineering Handbook, USA, 1974; pág. 552

Este método está basado en la experiencia y es una regla de oro, el análisis siguiente fue extraído de reportes de pozos perforados en el tiempo se observa en el gráfico que si no fue abandonado o no se requirió un sidetrack[4] la pesca fue exitosa, a excepción del primer valor que fue más de dos días 3.5 hasta la pesca exitosa[5].

#### 2.2.2.2. Cuadros de Break-even como una herramienta de decisión[6]

El costo de pesca de break-even es una comparación de los costos directos e indirectos de la pesca. Por ejemplo si el costo directo de la pesca es de 6000 $ por día, el objetivo a pescar es un ensamble de fondo de pozo de 50000 $, 12000 $ del pozo serán perdidos y un sidetrack o perforación lateral a un costo de 28000$ adicional será requerido si no es removido el objetivo, el valor del break even en días para sacar dicho pez como máximo es de:

$$6000\,T = 50000 + 12000 + 28000$$

Donde: $T = 15\ dias$

Sin embargo lo ideal es que la recuperación sea muy por debajo de este valor obtenido para evitar en el peor de los casos improductividad y por consecuente aumentar los costos adicionales luego del esfuerzo máximo realizado sin éxito.

#### 2.2.2.3. El método del valor esperado[7]

Este método está basado en promedios y probabilidades, vale decir, el valor esperado de un evento es igual a la probabilidad por el costo de este éxito, adicionando la probabilidad de las veces que fracase por el costo de estas fallas. La fórmula propuesta es la siguiente:

$$VE = Ps * Cs + Pf * Cf$$

$VE = Valor\ esperado$

[4] Sidetrack: perforación lateral del pozo por motivos de imposibilidad de mantener el curso del mismo por obstrucción
[5] MITCHELL, Dr. Bill, Advanced oil will drilling engineering Handbook, USA, 1974; pág. 552
[6] Ídem. Pág. 553
[7] Ídem. Pág. 554, 555

$Ps = Probabilidad\ de\ exito$

$Cs = Costo\ de\ exito$

$Pf = Probabilidad\ de\ fallar$

$Cf = Costo\ de\ fallar$

Donde: $Ps + PF = 1$

Por ejemplo si un collar atrapado fue pescado en 27 veces en 2 días de 34 veces que se quedó atrapado y el costo fue de 15000$, las otras 7 veces restantes no se pudo recuperar y se optó por un sidetracking, a un costo de 40000$, sin embargo de estas 7 veces 1 de ellas no fue exitoso un sidetracking y el pozo tuvo que ser abandonado a un costo de 250000$, en estos casos donde la pesca no fue prioridad ante un sidetrack no se perdió ningún pozo pero a un costo de 35000$ aproximado. La probabilidad de pesca es la siguiente:

$Ps = \frac{27}{34} = 0.794$ $Pf = \frac{7}{34} = 0.206$ Sumatoria de Ps+ Pf = 1 (lo requerido)

Las probabilidades de involucrar un sidetracking son:

$Ps = \frac{6}{7} = 0.857$ $Pf = \frac{1}{7} = 0.143$ Sumatoria de Ps+ Pf = 1 (lo requerido)

**a)** Entonces el valor esperado para realizar pesca y luego sidetracking es:

$$VE = \frac{27}{34} * 15000 + \frac{7}{34} * \left(\frac{6}{7} 40000 + \frac{1}{7} * 250000\right)$$

$$= 11912 + 14412$$

$$= \mathbf{26324}\ \$$$

Realizando pesca y luego un sidetrack si la pesca no es exitosa.

**b)** El valor esperado realizando un sidetracking sin pesca es el siguiente:

$$VE = (1 * 35000) + (0 * 0)$$

$$= \mathbf{35000}\,\$$$

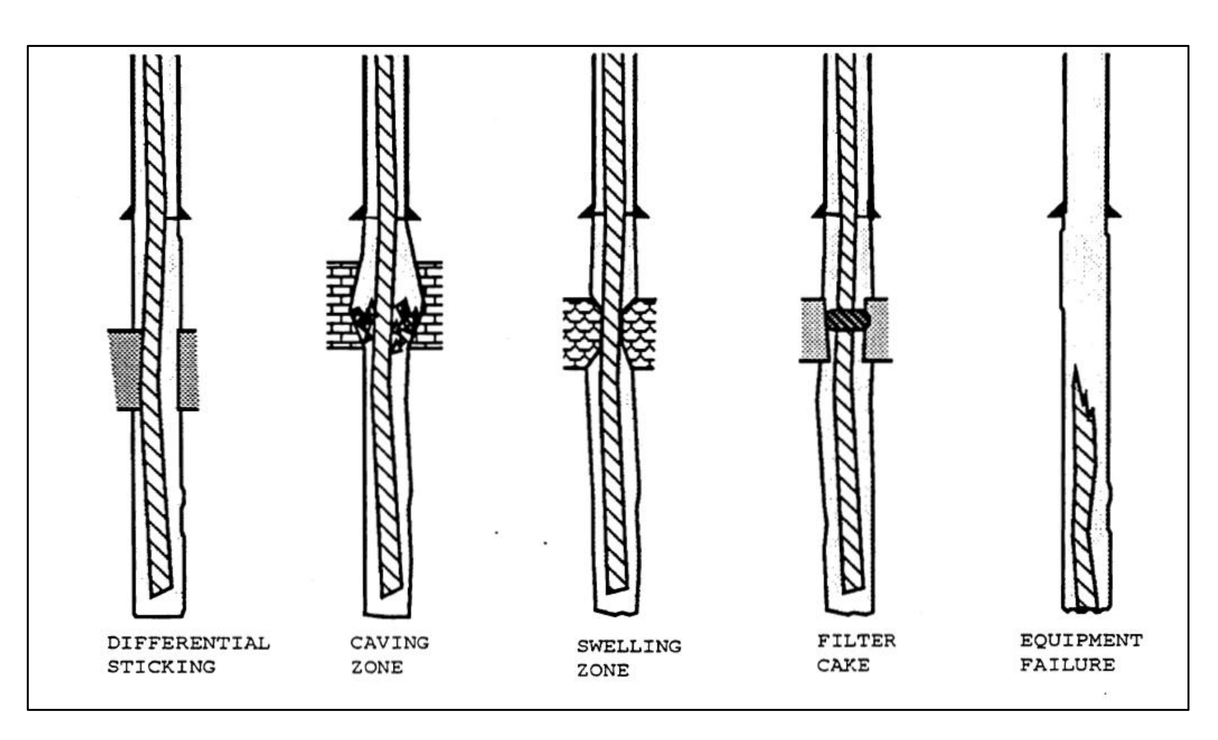
Véase y compárese los resultados donde el costo esperado realizando primero un esfuerzo mediante pesca estimándose un costo de 8676$ en promedio de evasión de costos más probable.

### 2.2.3. CAUSAS[8]

Probablemente el aspecto más importante de la pesca es acertar en los eventos que causaron el uso de este procedimiento como ya evaluamos en puntos anteriores. Sin poder identificar la causa exacta que produjo este acontecimiento es imposible determinar las herramientas, su selección y procedimientos.

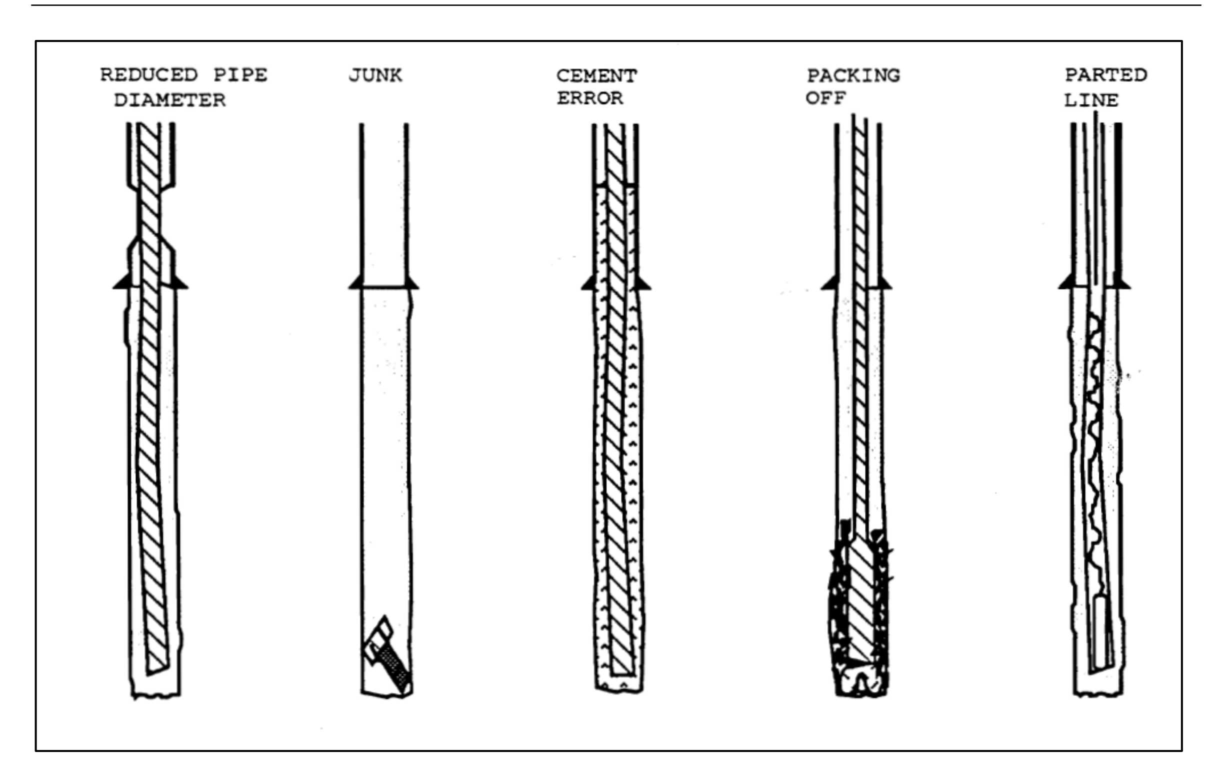
**FIGURA N° II. III**

**CAUSAS MÁS COMUNES DE APRISIONAMIENTO O ESTANCAMIENTO**




Continúa en la siguiente página.

[8] MITCHELL, Dr. Bill, Advanced oil will drilling engineering Handbook, USA, 1974; Pág. 558, 559




**Fuente:** Advanced oil well drilling engineering[9]

a) **Differential Sticking (Atascamiento diferencial).** Usualmente ocurre después de que la sarta de perforación está inactiva. El espesor del revoque de lodo es un factor de excesivo desbalance. La circulación a tasas normales es imposible.

b) **Caving Zone (Zona de hundimiento).** Causada por lodo de baja densidad. Es un gran problema en pozos horizontales y de ángulo elevado. Consecuentemente puede ser necesario una perforación por sidetrack.

c) **Swelling Zones (Hinchazón de zonas).** En este caso es posible que la zona se comprima y sea necesario volver a calibrar la zona. Puede ser necesario un sobre lavado y un poco de vibración o sacudimiento ayuda.

d) **Filter Cake (Filtrado de lodo).** Este reduce el diámetro de la perforación generalmente ocurre en participación con el atascamiento diferencial. Este puede ser lavado.

[9] MITCHELL, Dr. Bill, Advanced oil will drilling engineering Handbook, USA, 1974; Pág. 558

**e)** **Equipement Failure (Falla de equipo).** Este puede ser recuperado con un pesca sondas.

**f)** **Reduced pipe diameter (Diámetro reducido del revestimiento).** Se debe tratar de recuperar el diámetro, probablemente deba abandonarse el pozo o realizar un sidetrack.

**g)** **Junk (Chatarra).** Se trata con imanes, acido, jets.

**h)** **Cement Error (Error de cementación).** Se debe tratar de lavar el cemento, si es interno usar una barrena.

**i)** **Packed off.** Si es posible recircular se aumenta la tasa de circulación, puede ser posible el lavado o realizar un sidetrack.

**j)** **Parted Line (Línea separada).** Debe recuperarse con un arpón.

## 2.3. OTRAS CAUSAS

Dentro de otras causas que pueden ocasionar problemas operativos y por consiguiente un incremento en los costos, fueron también consideradas:

**a)** Problemas relacionados con la sarta de perforación

**b)** Problemas hidráulicos (sistemas circulatorios)

**c)** Trépanos

**d)** Tubería de revestimiento

**e)** Problemas de cementación

**f)** Errores humanos

**g)** Fallas en equipos

**h)** Características particulares de la zona

**i)** etc.

## 2.4. HERRAMIENTAS DE PESCA[10]

En la industria petrolera existen muchas empresas que se encargan de prestar servicios de pesca, muchos de los instrumentos o herramientas que usan son diseñadas por las propias compañías o adquieren las patentes para fabricarlas, lo que hace que existan en el mercado una gran variedad, en materiales, diámetros, y usos, cada una especialmente diseñada dependiendo del tipo de problema que se quiera resolver. A continuación se describen algunas de ellas, las más importantes y comunes que se usan en una pesca:

### a) La cesta

Es una pieza tubular que tiene en su extremo inferior cortes de apariencia de los dedos de las manos, que al llegar al fondo del pozo y aplicar peso sobre ella, estos flejes se doblan hacia adentro atrapando los objetos en su interior.

**FIGURA N° II. IV**

**CESTA**

**Fuente:** https://www.scribd.com/doc/62013371/Herramientas-de-Pesca

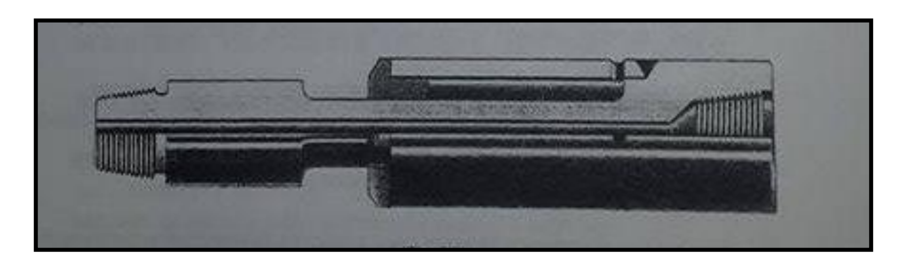
[10] ALBA, Eduardo, Industria de los Hidrocarburos, II Parte: Perforación, Cámara Boliviana de Hidrocarburos, Bolivia, 2008; págs. 174-177

**b) Sustituto de bolsillo**

Esta pieza generalmente se instala sobre el trépano y se baja al pozo para que por efecto de la circulación del lodo eleve los pequeños objetos que se depositan en el bolsillo de esta pieza.

**FIGURA N° II. V**

**SUSTITUTO DE BOLSILLO**



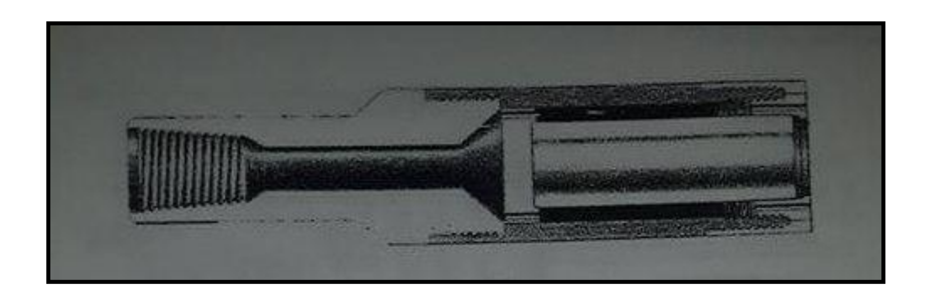
**Fuente:** ALBA, Eduardo, Industria de los Hidrocarburos

**c) Pescador magnético**

Por su tipo de construcción, una vez bajado al fondo del pozo su imán atrae los objetos metálicos y puede recuperarlos. Puede bajarse con barras de sondeo o utilizando un adaptador se baja al pozo con cable.

**FIGURA N° II. VI**

**PESCADOR MAGNÉTICO**



**Fuente:** ALBA, Eduardo, Industria de los Hidrocarburos

**d) Cesta de circulación inversa**

Es una pieza, que por su tipo de construcción circula el fluido de perforación desde la parte externa hacia el interior. Por este efecto puede introducir objetos

pequeños y retenerlos en unos flejes. Posee un zapato fresador que colabora con el acomodo e ingreso del o los objetos a su interior.

- La Cesta Pesca fierros - Tipo de Circulación Inversa, está diseñada para utilizar el principio de la circulación inversa. El fluido circula en chorro hacia fuera y hacia abajo contra la circunferencia plena del hoyo, en el que es desviado en forma tal que dirige todos los objetos hacia el interior del largo cilindro de la cesta.
- La Cesta Pesca fierros - Tipo de Circulación Inversa, se usa para rescatar toda clase de fierros acumulados en el fondo de un pozo. Tales fierros pueden ser conos y cojinetes de barrenas, cuñas rotas, trozos de cable de alambre, herramientas manuales, astillas y demás escombros de tubería de perforación partida, ripio de fresadoras, etc. También se la puede usar para tomar núcleos de muestra, perforar un hoyo de pleno calibre o escariar un hoyo perforado.

**FIGURA N° II. VII**

**CESTA DE CIRCULACIÓN INVERSA**




**Fuente:** https://www.scribd.com/doc/62013371/
Herramientas-de-Pesca

**e) Rotura de la sarta de perforación**

La rotura del material tubular de la sarta de perforación es otro de los problemas más comunes de pesca. Generalmente esto sucede por la fatiga del material. Cuando esto ocurre, lo que se hace es sacar la parte superior que quedó por encima de la rotura. El resto queda en el pozo como “pesca”.

Para recuperar estas pescas existen una variedad de herramientas. Para solucionar este problema, lo que se hace es verificar en que condición salió la otra parte a superficie. Esto orientará cuál procedimiento seguir y la herramienta de pesca a utilizar.

**f) Overshot**

Es una herramienta cuyo diseño permite enchufar sobre la pesca, agarrarla de su diámetro exterior y levantarla para sacarla a superficie. Este overshot puede estar equipado con accesorios intercambiables que permiten agarrar diferentes diámetros de material tubular en pesca.

Las Tarrajas o llamados Overshots son los elementos más simples para conectar pescados por su exterior y recuperarlos, existen varios tipos las Tarrajas cónicas rotativas, y las Tarrajas de diámetro interior grande.

**FIGURA N° II. VIII**

**OVERSHOT**



**Fuente:** ALBA, Eduardo, Industria de los Hidrocarburos

La Tarraja se emplea para conectar y recuperar tuberías, tubos de perforación, casing y objetos similares de los pozos. Cualquier dispositivo tubular puede ser recuperado. La Tarraja Cónica Rotatoria (Taper Taps), se utiliza para recuperar tuberías de producción, de perforación, de revestimiento o cualquier dispositivo

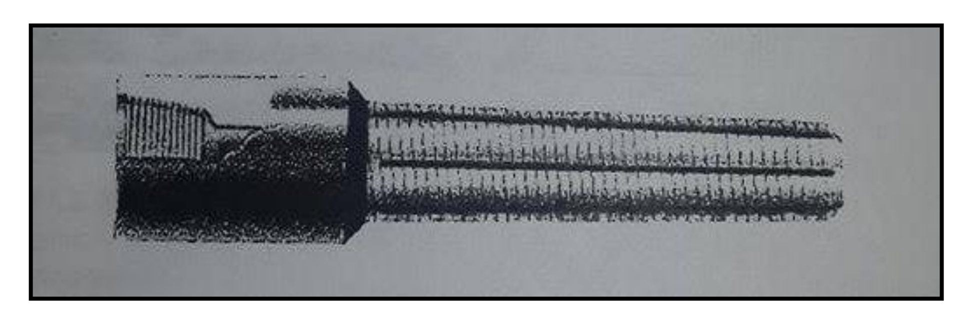
tubular con orificio, atrapado en cualquier tipo de agujero. Es de excepcional utilidad en casos en que el espacio anular agujero-pescado sea tan reducido que no permita el empleo de pescantes exteriores.

**g) Pescador macho**

Su tipo de construcción es cónico alargado y con estrías que permiten ingresar al interior de la tubería en pesca, puede agarrar y lograr recuperar sacando la misma hasta superficie. Es la herramienta más económica para esta clase de pescas.

**FIGURA N° II. IX**

**PESCADOR MACHO**



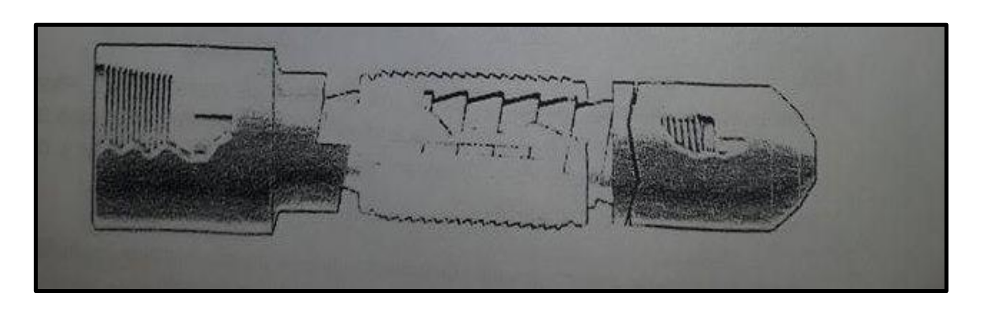
**Fuente:** ALBA, Eduardo, Industria de los Hidrocarburos

**h) Pescador macho tipo arpón**

Esta herramienta ingresa en el interior de la tubería en pesca y al maniobrar se acciona su sistema de agarre recuperando la pesca. Es fácil de liberar o reenganchar si fuera necesario.

**FIGURA N° II. X**

**PESCADOR TIPO ARPÓN**



**Fuente:** https://www.scribd.com/doc/62013371/Herramientas-de-Pesca

**i) Herramienta aprisionada**

Esto puede ocurrir a consecuencia de varios problemas en el pozo, tales como: “colapso de las paredes del pozo”, alojamiento de la sarta en una “pata de perro” o en un “asiento de llave”, incremento del espesor de la película del lodo en las paredes del pozo y presión diferencial, causando en todos estos casos el aprisionamiento de la sarta de perforación.

Una vez ocurrido el problema, primeramente lo que se hace es agotar esfuerzos para constatar la causa del aprisionamiento. En función de dicho problema se agotarán los esfuerzos para liberarla. De no tener éxito, se planifica recuperar la parte libre. Para esto desenroscamos deliberadamente por encima de la parte aprisionada. Esto se hace bajando por el interior de la sarta un instrumento llamado “indicador de punto libre”. Luego de conocer ese punto libre, se baja una carga explosiva controlada hasta la altura de la rosca que se pretende desenroscar. Se aplica torsión izquierda a la sarta y se acciona el explosivo que desenrosca en ese punto, la parte que queda en el pozo serpa la herramienta en “pesca”. Se saca la sección libre y se baja una herramienta de pesca seleccionada y que incluye una tijera hidráulica y un sub golpeador. Se enrosca en la pesca y se procede a golpear hacia arriba y hacia abajo para liberar y recuperar la pesca.

Si la causa de aprisionamiento es la formación de una película de lodo grande, o las paredes del pozo hubieran colapsado, se utilizarán “caños lavadores” que con un zapato fresador en su punta lava la herramienta en pesca por toda la longitud requerida. Esto quiere decir que la pesca ingresa al interior de los caños lavadores. Luego se procede a recuperar posiblemente con la ayuda de un “overshot”.

Cuando una sección de barras de sondeo es aprisionada y el lavado con caños lavadores es insuficiente para liberarla, puede recurrirse al uso de cortadores internos o externos, para recuperar las barras en secciones.

Para una operación exitosa de pesca, se requiere de una buena planificación y correcto uso de las herramientas de pesca. Los equipos de perforación, generalmente tienen en su inventario un mínimo de estas herramientas en el pozo.

## 2.5. CONSIDERACIONES

Por lo observado en este punto se pueden identificar y seleccionar variables que multiplicadas entre si nos dan un valor muy grande de análisis.

Por consiguiente una buena planificación previa a la perforación y una evaluación de las lecciones aprendidas con el pasar del tiempo podrían reducir estas variables para asegurar que se manejan en un nivel de riesgo aceptable o razonable

## 2.6. GEOLOGIA

"La geología es la rama de las Ciencias Naturales que estudia la historia, la composición, la estructura y los procesos de la Tierra, más específicamente, de las rocas que constituyen nuestro planeta desde la superficie hasta 100 o 200 kilómetros de profundidad.

Como ciencia, la Geología aplica métodos y teorías de la Física, de la Química, de la Matemática y de la Biología, las cuales constituyen las principales ciencias conexas"[11].

La corteza terrestre está compuesta por minerales y rocas, por lo tanto es necesario explicar sus propiedades.

### 2.6.1. MINERAL

Cuerpo homogéneo, generalmente sólido, formado por procesos naturales, de composición química, que bajo condiciones apropiadas presenta una forma cristalina de acuerdo a su propia constitución molecular. Los minerales pueden presentarse con aspecto de masas uniformes, o como cristales como se mencionó anteriormente.[12]

[11] IRIONDO, Martín, Introducción a la Geología, Brujas, Argentina, 2006; pág. 9
[12] CARRASCO, Germán, Fundamentos de Geología y Geotecnia para Ingenieros, ABC, Bolivia, 1996; pág. 50

#### 2.6.1.1. Propiedades físicas de los minerales

Las propiedades físicas de los minerales están condicionadas por su estructura interna y su composición química. El análisis visual de algunas de estas propiedades permite identificar los minerales: forma, hábito, color, brillo, dureza, exfoliación, fractura, densidad y magnetismo[13].

### 2.6.2. ROCA

Entendemos por rocas una agrupación de minerales que constituyen la capa superior de la corteza terrestre y que se presentan en grandes masas compactas y homogéneas, tales como el granito y caliza, y que se explotan bajo formas de canteras[14].

Se distinguen tres grandes categorías de rocas[15]:

- Rocas eruptivas (ígneas).
- Rocas sedimentarias.
- Rocas metamórficas.

#### 2.6.2.1. Rocas eruptivas

"Como su propio nombre indica, las rocas eruptivas se han formado en el interior de la tierra, pero no se puede explicar de forma clara el fenómeno por el que el magma de presión aparece consolidado en superficie. Se distinguen las formaciones extrusivas y las intrusivas.

Las primeras se forman a partir de los volcanes. Las rocas eruptivas salen a la superficie libre y allí se extienden en capas más o menos regulares. Las formaciones intrusivas no llegan hasta la superficie. Las rocas en presión salen hasta la corteza terrestre, y llenan las fisuras o bolsas que van encontrando, siguiendo formaciones de gran tamaño llamadas batolitos"[16].

[13] VELAZQUES, Martín, Introducción a la Cristalografía de Minerales de Interés Gemológico, DYKINSON, España, 2004; pág. 23
[14] SANZ, Juan José, Mecánica de Suelos, Editores Técnicos Asociados S.A., España, 1975; pág. 2
[15] Ídem. Pág. 2
[16] Ídem. Pág. 2

### 2.6.2.2. Rocas Sedimentarias

Las rocas sedimentarias se forman por la acumulación de fragmentos minerales, depositados por el agua, el viento o el hielo, y posteriormente cementados. También se forman por precipitación química de sales disueltas en el agua o por la actividad biológica de ciertos organismos[17].

### 2.6.2.3. Rocas Metamórficas

Las rocas metamórficas son las originadas por importantes transformaciones de los componentes mineralógicos de otras rocas preexistentes, endógenas o exógenas. Estos grandes cambios se producen por la necesidad de estabilizarse sus minerales en unas nuevas condiciones de temperatura, presión y quimismo[18].

## 2.6.3. MECANICA DE ROCAS

La mecánica de rocas es una rama de la mecánica que trata con la respuesta de la roca a un campo de fuerzas aplicado en su medio ambiente físico[19].

Existen tres clases de esfuerzos que las rocas pueden soportar[20]:

- Compresión.
- Corte.
- Tracción.

Los esfuerzos de compresión, tracción y corte actúan simultáneamente y de manera combinada en rocas y sedimentos cuando se produce una ruptura[21].

Además de las tres clases de esfuerzos mencionados, las rocas pueden estar sometidas a otros esfuerzos de torsión[22].

[17] IRIONDO, Martín, Introducción a la Geología, Brujas, Argentina, 2006; pág. 181
[18] Instituto Tecnológico Geominero de España, Manual de Perforación y Voladuras de Rocas, IGME, España, 1994; pág. 18
[19] Unidad de Perforación y Mantenimiento de Pozo, Barrenas e Hidráulica de Perforación, PEMEX, México, 2000; pág. 13
[20] CARRASCO, Germán, Fundamentos de Geología y Geotecnia para Ingenieros, ABC, Bolivia, 1996; pág. 257
[21] Ídem. Pág. 260
[22] Ídem. Pág. 257

### 2.6.3.1. Resistencia a esfuerzos de compresión

La resistencia de compresión de una roca o material es la fuerza requerida para romper una muestra que esté sometida a una carga, sin que se halle sostenida por los lados[23].

**CUADRO N° II. I**

**RESISTENCIA DE LAS ROCAS A LA COMPRESIÓN.**

| RESISTENCIA DE LAS ROCAS A LA COMPRESIÓN | |
|---|---|
| **Resistencia (Psi)** | **Tipos de rocas** |
| >40.000 | Algunos basaltos, ciertas cuarcitas. |
| 25.000-40.000 | Granitos de textura fina, doritas, basaltos, areniscas y calizas bien cementadas, cuarcitas. |
| 10.000-25.000 | Calizas y areniscas de tipo medio, granitos de textura media gruesa, gneiss. |
| 5.000-10.000 | Areniscas y calizas porosas, margas. |
| <5.000 | Tobas, areniscas muy porosas, limolitas y lutitas compactadas. |

**Fuente:** Carrasco Ardaya Germán

Las rocas están influenciadas por su textura en la resistencia de compresión. Una roca de textura fina es resistente más que otra similar que posea textura gruesa[24].

La presencia de fisuras, micro-fracturas o inclusiones de materiales extraños ocasiona un detrimento de la resistencia a la compresión, que se vuelve crítica si la dirección de las fisuras coincide con los planos de fractura o fatiga de la roca[25].

Los esfuerzos de compresión tienden a disminuir el volumen del material[26].

---

[23] CARRASCO, Germán, Fundamentos de Geología y Geotecnia para Ingenieros, ABC, Bolivia, 1996; pág. 257
[24] Ídem. Pág. 258
[25] Ídem. Pág. 258 y 259
[26] Ídem. Pág. 257

#### 2.6.3.2. Resistencia a esfuerzos cortantes

La resistencia de las rocas a esfuerzos cortantes es determinado por un esfuerzo tangencial (resultado de la aplicación de un peso) y por un coeficiente de fricción de la roca, que ocasionan el desgarre o corte de la roca[27].

El coeficiente de fricción de la roca es función del coeficiente de resistencia cortante propio de la roca[28].

Esfuerzos tangenciales tienden a separar partes de la roca con respecto a otras[29].

#### 2.6.3.3. Resistencia a esfuerzos de tracción

La resistencia de las rocas a la tracción es baja o despreciable, comparada con la resistencia a la compresión. Estos tipos de esfuerzos si se presentan tienden a crear grietas y fisuras en el material[30].

### 2.6.4. MECANICA DE ROCAS APLICADA A LA INGENIERIA DE PERFORACION

Conocer las características y propiedades físicas de minerales y rocas, su comportamiento mecánico, además de las características de las formaciones encontradas durante el proceso de perforación son factores importantes en el proceso de selección de trépanos y en la velocidad de penetración de los mismos[31].

A continuación, se presentan los minerales encontrado durante la perforación de pozos petroleros, así como sus características en dureza, densidad y color.

[27] CARRASCO, Germán, Fundamentos de Geología y Geotecnia para Ingenieros, ABC, Bolivia, 1996; pág. 259 y 260
[28] Ídem. Pág. 260
[29] Ídem. Pág. 260
[30] Ídem. Pág. 259
[31] Unidad de Perforación y Mantenimiento de Pozo. Barrenas e Hidráulica de Perforación, PEMEX, México, 2000; pág. 12

**CUADRO N° II. II**

**PROPIEDADES DE LOS MINERALES ENCONTRADOS DURANTE LA PERFORACIÓN DE POZOS PETROLEROS.**

| PROPIEDADES DE LOS MINERALES | | | |
|---|---|---|---|
| **Mineral** | **Dureza (Mohs)** | **Densidad (ppg)** | **Color** |
| Barita | 3,0-3,5 | 4,3-4,7 | Gris |
| Calcita | 3,0 | 2,72 | Blanca o amarilla |
| Clorita | 1,0-2,5 | 2,6-3,0 | Verde pasto |
| Dolomita | 3,5-4,0 | 2,9 | Comúnmente blanca |
| Yeso | 2 | 2,2-2,4 | Blanco |
| Halita | 2,0-2,5 | 2,1 | Blanca |
| Kaolinita | 1,0-2,0 | 2,2-2,6 | Blanca |
| Pirita | 6,0-6,5 | 4,9-5,2 | Amarilla |

**Fuente:** PEMEX[32]

Las propiedades físicas de los minerales relacionadas con la Ingeniería de Perforación son: clivaje, fractura y dureza[33].

❖ **Dureza.-** Habilidad de un material para ser rayado por otro. La escala de Mohs es la medida estándar, donde el valor de 1 es para el material suave y el 10 para el duro[34]. Un mineral cualquiera de esta escala puede rayar a los que tienen número más bajo y a su vez puede ser rayado por los que tienen número mayor[35].

[32] Unidad de Perforación y Mantenimiento de Pozo. Barrenas e Hidráulica de Perforación, PEMEX, México, 2000; pág. 13
[33] Ídem. Pág. 13 y 14
[34] Ídem. Pág. 14
[35] CARRASCO, Germán, Fundamentos de Geología y Geotecnia para Ingenieros, ABC, Bolivia, 1996; pág. 54

❖ **Clivaje (exfoliación).-** Al aplicar una fuerza a un mineral, este se rompe generalmente a lo largo de un plano definido o plano de clivaje o exfoliación, que es paralelo a una cara cristalina. Esta superficie es plana y da la apariencia de haber sido pulida[36].

❖ **Fractura.-** Superficie resultante del rompimiento (debido al plano de clivaje) cuando no tiene relación con caras cristalinas y se diferencia en regular, irregular, concoidea[37].

### 2.6.5. SECUENCIA ESTRATIGRAFICA

Es una pila de capas o estratos que originalmente fueron sedimentados en una cuenca, donde las capas más jóvenes yacen sobre otras que las preceden en edad. Los sedimentos sometidos a la presión de la sobrecarga que reciben de nuevos aportes, la acción de los compuestos químicos en solución, la temperatura del suelo, y el transcurrir del tiempo hicieron que sedimentos y precipitados se compacten dando así origen a los estratos. Sinónimos: columna geológica, corte columnar, perfil estratigráfico[38].

## 2.7. TREPANOS

El trépano es la pieza que conectada al extremo inferior de los porta-mechas, permite perforar la formación. Esta pieza, en el sistema de perforación rotativo, al ser bajado con la sarta de perforación y tocar el fondo del pozo, inicia la perforación con la circulación del fluido de perforación a través de los conductos que posee el trépano y que limpia el fondo del pozo[39].

### 2.7.1. MECANISMO DE FUNCIONAMIENTO DE LOS TREPANOS

El funcionamiento de los trépanos depende de variables dependientes de las características del mismo trépano así como la formación que está perforando.

---

[36] CARRASCO, Germán, Fundamentos de Geología y Geotecnia para Ingenieros, ABC, Bolivia, 1996; pág. 54
[37] Ídem. Pág. 54
[38] ROLLANO, Mario, Industria de los Hidrocarburos, Cámara Boliviana de Hidrocarburos, Bolivia, 2008; pág. 26
[39] Ídem. Pág. 124

El funcionamiento del trépano depende de[40]:

- ❖ Mecanismo de corte.
- ❖ Resistencia y mecanismo de falla de la roca.
- ❖ Mecanismo de perforación.

### 2.7.1.1. Mecanismo de corte

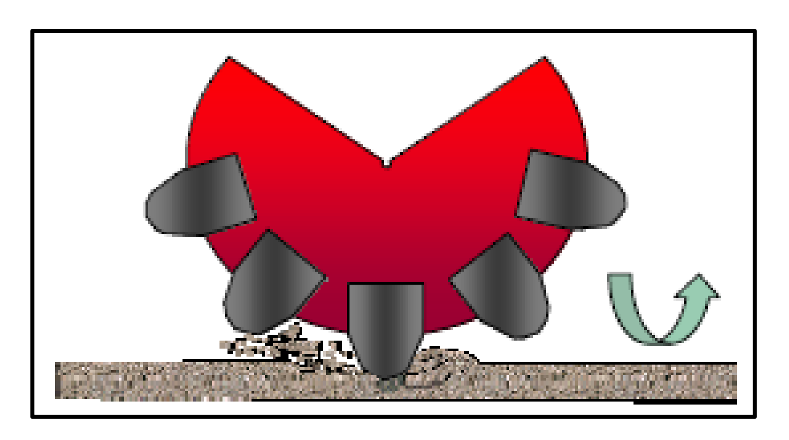
El mecanismo de corte de un trépano se realiza mediante[41]:

- ❖ Compresión de la roca.
- ❖ Fallado de la roca.
- ❖ Fallado y compresión de la roca.

a) **Compresión de la roca.** Se da mediante la incrustación del elemento cortante del trépano en la formación y el corte de la roca al desplazarse dentro de ella[42]. Este mecanismo de corte es característico en trépanos tricónicos.

**FIGURA N° II. XI**

**COMPRESIÓN DE LA ROCA**



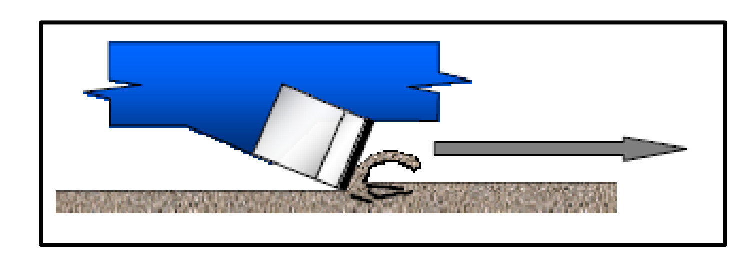
**Fuente:** Schlumberger[43]

[40] Gerencia de Entrenamiento y Desarrollo & Gerencia Regional de Servicios Técnicos, Introducción a Brocas PDC, Smith Internacional, 2003; pág. 1
[41] Ídem. Pág. 2
[42] Ídem. Pág. 2

b) **Fallado de la roca.** Se da mediante un cizallamiento generado por el elemento cortante del trépano, que vence la resistencia de la roca[44]. Este mecanismo de corte es característico en trépanos de cortadores de diamantes sintéticos.

**FIGURA N° II. XII**

**FALLADO DE LA ROCA**

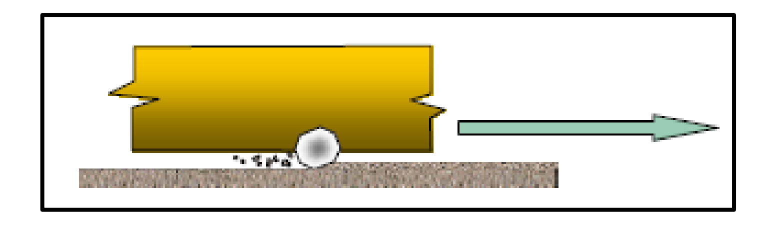


**Fuente:** Schlumberger[45]

c) **Fallado y compresión de la roca.** En los trépanos impregnados de diamantes (naturales y sintéticos) se presenta una combinación en el mecanismo de corte del trépano, al vencer la resistencia de la roca mediante falla por esfuerzos cortantes y esfuerzos de compresión[46].

**FIGURA N° II. XIII**

**FALLADO Y COMPRESIÓN DE LA ROCA**



**Fuente:** Schlumberger[47]

[43] Programa de Entrenamiento Acelerado para Supervisores, Selección de barrenas en el proceso de construcción de pozos, Schlumberger, 2004; pág. 24
[44] Gerencia de Entrenamiento y Desarrollo & Gerencia Regional de Servicios Técnicos, Introducción a Brocas PDC, Smith Internacional, 2003; pág. 2
[45] Programa de Entrenamiento Acelerado para Supervisores, Selección de barrenas en el proceso de construcción de pozos, Schlumberger, 2004; pág. 25
[46] Gerencia de Entrenamiento y Desarrollo & Gerencia Regional de Servicios Técnicos, Introducción a Brocas PDC, Smith Internacional, 2003; pág. 2
[47] Programa de Entrenamiento Acelerado para Supervisores, Selección de barrenas en el proceso de construcción de pozos, Schlumberger, 2004; pág. 26

El mecanismo de corte de un trépano juega un papel importante en la determinación de la energía específica requerida para perforar a través de una formación dada[48].

#### 2.7.1.2. Resistencia y mecanismo de falla de la roca

Las rocas presentan dos tipos de resistencia[49]:

- ❖ Resistencia a esfuerzos cortantes.
- ❖ Resistencia a esfuerzos de compresión.

Para realizar el corte de una roca, primeramente se debe iniciar el fallado de la misma.

Los mecanismos de falla en las rocas son[50]:

- ❖ Falla por esfuerzo cortante.
- ❖ Falla por esfuerzo de compresión.

#### 2.7.1.3. Mecanismo de perforación

El mecanismo de perforación implica la acción de corte del trépano, la resistencia que ofrece la roca y el fallado de la misma, en condiciones in-situ. El mecanismo de perforación depende del tipo y características de la roca que se desea cortar principalmente, la dureza de la misma[51].

### 2.7.2. TIPOS DE TREPANOS DISPONIBLES

Los trépanos por lo general se clasifican según su diseño, ya sea como Trépanos de cortadores fijos o trépanos de conos giratorios. Todos los trépanos de cortadores fijos consisten en láminas de cuchillas fijas que son integrales con el cuerpo del trépano y giran como unidad con la sarta de perforación. El uso de este

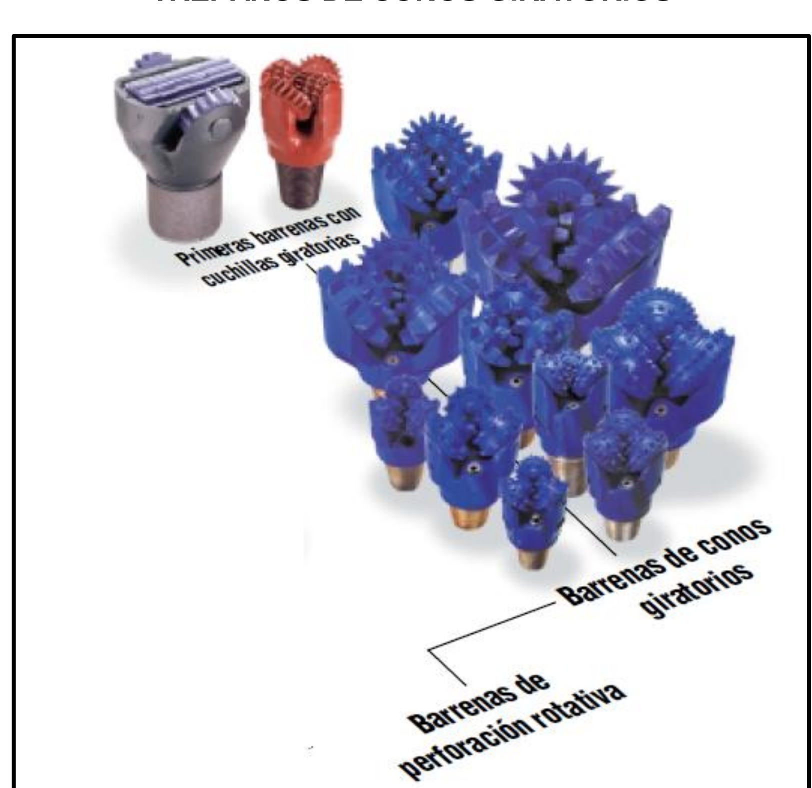
[48] Gerencia de Entrenamiento y Desarrollo & Gerencia Regional de Servicios Técnicos, Introducción a Brocas PDC, Smith Internacional, 2003; pág. 1
[49] Programa de Entrenamiento Acelerado para Supervisores, Selección de barrenas en el proceso de construcción de pozos, Schlumberger, 2004; pág. 23
[50] Ídem. Pág. 22
[51] Unidad de Perforación y Mantenimiento de Pozo. Barrenas e Hidráulica de Perforación, PEMEX, México, 2000; pág. 2

tipo de trépano se remonta a la introducción del proceso de perforación rotativa en el siglo 19. Los trépanos de conos giratorios tienen dos o más conos que contienen a los elementos de corte, que giran alrededor del eje de los conos tal como el trépano se hace girar en la parte inferior del agujero. El trépano de dos conos giratorios fue introducido en 1909[52].

### 2.7.2.1. Trépanos de conos giratorios

**FIGURA N° II. XIV**

**TRÉPANOS DE CONOS GIRATORIOS**




**Fuente:** Besson Alain[53]

Las barrenas de conos giratorios poseen conos de metal que giran en forma independiente al mismo tiempo que la barrena rota en el fondo del agujero. Cada uno de los conos cuenta con estructuras cortantes (dientes de acero resistentes al desgaste o insertos de carburo de tungsteno) que cortan y trituran, o penetran y rompen como si fuesen cinceles o palas, dependiendo de la dureza de la

[52] BOURGOYNE, Adam, Applied Drilling Engineering, Society of Petroleum Engineers, Estados Unidos, 1986; pág. 190
[53] BESSON, Alain, Bordes Cortantes, TotalFinaElf, Francia, 2001; pág. 39

formación. Las barrenas de conos giratorios permiten perforar más profundo y normalmente se las conoce como barrenas para roca, debido a que pueden perforar formaciones más duras en comparación con las barrenas de arrastre.[54]

**a) Trépanos tricónicos.**

Los trépanos tricónicos pertenecen al grupo de trépanos de conos giratorios. Poseen tres conos que se encuentran montados sobre la pierna del trépano mediante cojinetes. En los conos se encuentra maquinada o soldada la estructura cortadora, encargada de realizar el corte de la roca.

**FIGURA N° II. XV**

**TRÉPANOS TRICÓNICOS**



**Fuente:** Smith[55]

Los trépanos tricónicos constan de tres componentes[56]:

- Cuerpo del trépano.
- Estructura cortadora.
- Sistema de rodamientos (cojinetes).

A estos tres componentes, se suman otros subcomponentes como sellos y sistema de compensación de presión.

[54] BESSON, Alain, Bordes Cortantes, TotalFinaElf, Francia, 2001; pág. 38
[55] SMITH BIT, Product Catalog, 2013, pág. 38
[56] ADAMS, Neal, Drilling Engineering, A Complete Well Planning Approach, PennWell Publishing Company, Estados Unidos, 1985, pág. 157

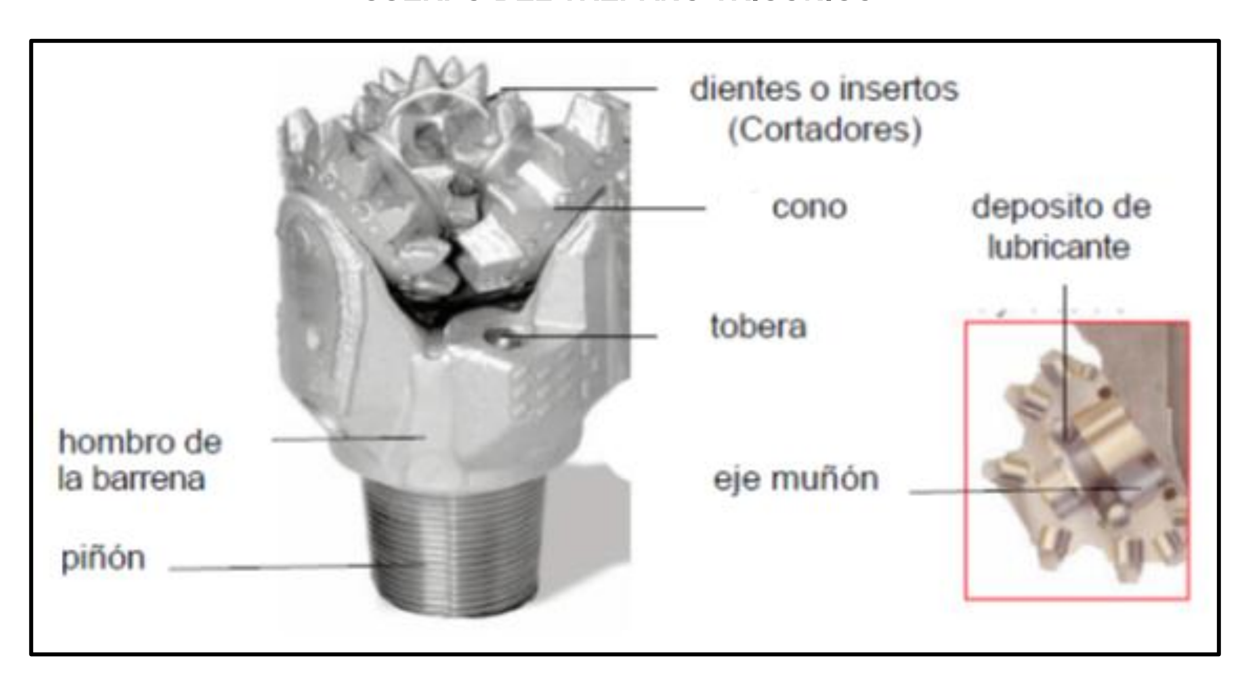
**i) Cuerpo del trépano.**

Está fabricado de acero y generalmente consiste de[57]:

- ❖ Unión roscada (piñón), que une el trépano con la sarta de perforación.
- ❖ Tres ejes del cojinete (muñón), donde van montados los conos.
- ❖ Depósitos de lubricante, que contiene el lubricante para los cojinetes.
- ❖ Toberas o boquillas, por medio de los cuales el fluido de perforación fluye con la finalidad de extraer los recortes del fondo del pozo.
- ❖ Piernas del trépano maquinadas en una pieza forjada (con una soldadura especial para incrementar su resistencia).

**FIGURA N° II. XVI**

**CUERPO DEL TRÉPANO TRICÓNICO**




**Fuente:** Manual de Perforación[58]

[57] ADAMS, Neal, Drilling Engineering, A Complete Well Planning Approach, PennWell Publishing Company, Estados Unidos, 1985, pág. 157

[58] http://librosdeingenieriagratis.com/manual-para-ayudante-perforador-cabo-malacetero/, Manual de Perforación, Manual para ayudante de perforador (cabo), perforador y malacatero, Documento electrónico, 2004; pág. 305

**ii) Estructura cortadora.**

Representada por conos y cortadores (dientes), que se encuentran en contacto con la formación y están encargados de la penetración.

El cono posee anillos guías para el montaje de los cojinetes, un buje fijado a presión y un tapón de empuje para el cojinete secundario.

Los cortadores o dientes están ubicados en la superficie de los conos. Realizan el corte de la formación y son[59]:

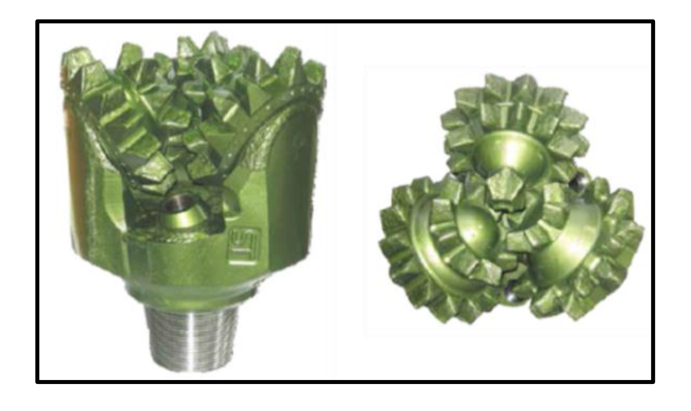
- ❖ Dientes de acero.
- ❖ Insertos de carburo de tungsteno.

**1) Dientes de acero.**

Son fabricados con el mismo metal que los conos del trépano. Cuentan con un recubrimiento duro de carburo de tungsteno, fundido integralmente con los dientes de acero, resistente al desgaste, que tiene como finalidad incrementar la durabilidad del trépano[60].

**FIGURA N° II. XVII**

**DIENTES DE ACERO**



**Fuente:** Smith[61]

[59] ADAMS, Neal, Drilling Engineering, A Complete Well Planning Approach, PennWell Publishing Company, Estados Unidos, 1985; pág. 157
[60] BESSON, Alain, Bordes Cortantes, TotalFinaElf, Francia, 2001; pág. 41
[61] SMITH BIT, Product Catalog, 2013; pág. 38

**2) Insertos de carburo de tungsteno.**

Son formados por separado y colocados mecánicamente a presión en agujeros perforados en la superficie de los conos. Estos agujeros labrados en los conos son ligeramente menores en tamaño al diámetro de los insertos[62].

**FIGURA N° II. XVIII**

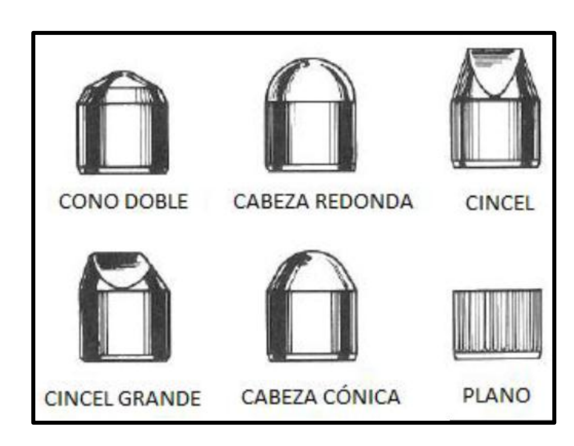
**INSERTOS DE CARBURO DE TUNGSTENO**



**Fuente:** Smith[63]

**FIGURA N° II. XIX**

**INSERTOS DE CARBURO DE TUNGSTENO**




**Fuente:** Adams Neal[64]

[62] BESSON, Alain, Bordes Cortantes, TotalFinaElf, Francia, 2001; pág. 41
[63] SMITH BIT, Product Catalog, 2013; pág. 50

**iii)Sistema de rodamientos (cojinetes) y sellos.**

Los cojinetes son los componentes que permiten a los conos girar alrededor del cuerpo del trépano[65].

**FIGURA N° II. XX**

**SISTEMA DE RODAMIENTOS Y SELLOS**

**Fuente:** Baker-Hughes[66]

Existen dos tipos de cojinetes:

- Cojinetes de rodillos.
- Cojinetes de fricción.

Los cojinetes pueden estar sin sello (abiertos) o sellados[67]. Los cojinetes sin sello han sido reemplazados por sistemas de cojinetes sellados.

---

[64] ADAMS, Neal, Drilling Engineering, A Complete Well Planning Approach, PennWell Publishing Company, Estados Unidos, 1985; pág. 185

[65] COLUMBA, Julio César, Determinación del trépano adecuado para la perforación en el sub-andino sur aplicado a las formaciones del devónico, U.A.G.R.M., Bolivia, 2003; pág. 3

[66] Baker-Hughes, Drilling Engineering Workbook, A Learning Course, Baker Hughes Inteq Training & Development, Estados Unidos, 1995; pág. 3 y 5

[67] COLUMBA, Julio César, Determinación del trépano adecuado para la perforación en el sub-andino sur aplicado a las formaciones del devónico, U.A.G.R.M., Bolivia, 2003; pág. 3

Los sellos tienen como finalidad mantener el lubricante dentro de los cojinetes sellados, impidiendo que el fluido de perforación y sustancias sólidas penetren dentro del cojinete.

Los sellos evitan problemas de fatiga y desgaste en las superficies de los cojinetes, en las piezas de sujeción y en los conos. Existen clases de sellos disponibles en el mercado que sellan de forma eficaz reduciendo la fricción y disipando el calor, disminuyendo el desgaste y permaneciendo más fríos.

Los sellos comunes son los radiales[68].

**1) Cojinetes de rodillos.**

Son utilizados en aplicaciones con formaciones blandas. Son de dos tipos:

- **Cojinetes R-B-R (Rodillos-Bolas-Rodillos):** compuesto de cojinetes de rodillos, bolas de retención del cono y cojinetes de rodillos, ubicados en la parte principal, intermedia y secundaria del cono, respectivamente[69].

**FIGURA N° II. XXI**

**COJINETE R-B-R**



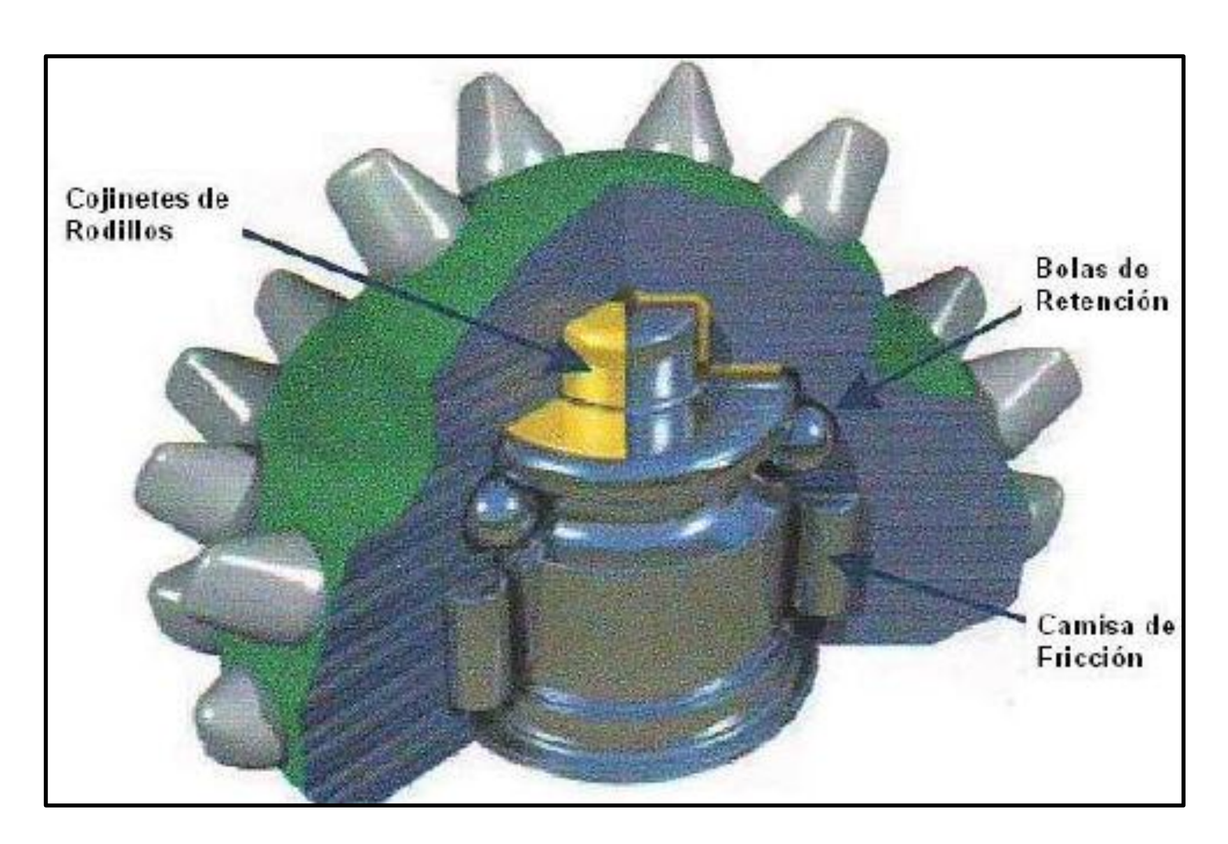

**Fuente:** PerfoBlogger[70]

[68] BESSON, Alain, Bordes Cortantes, TotalFinaElf, Francia, 2001; pág. 42
[69] Gerencia de Entrenamiento y Desarrollo & Gerencia Regional de Servicios Técnicos, Introducción a Brocas PDC, Smith Internacional, 2003; pág. 27
[70] http://achjij.blogspot.com/2011/06/mechas-e-hidraulica-aplicadas-para-las.html, (Junio del 2006)

❖ **Cojinetes R-B-F (Rodillos-Bolas-Fricción):** compuestos de cojinetes de rodillos, bolas de retención del cono y camisas de fricción, ubicados en la parte principal, intermedia y secundaria, respectivamente[71].

**FIGURA N° II. XXII**

**COJINETE R-B-F**




**Fuente:** Smith[72]

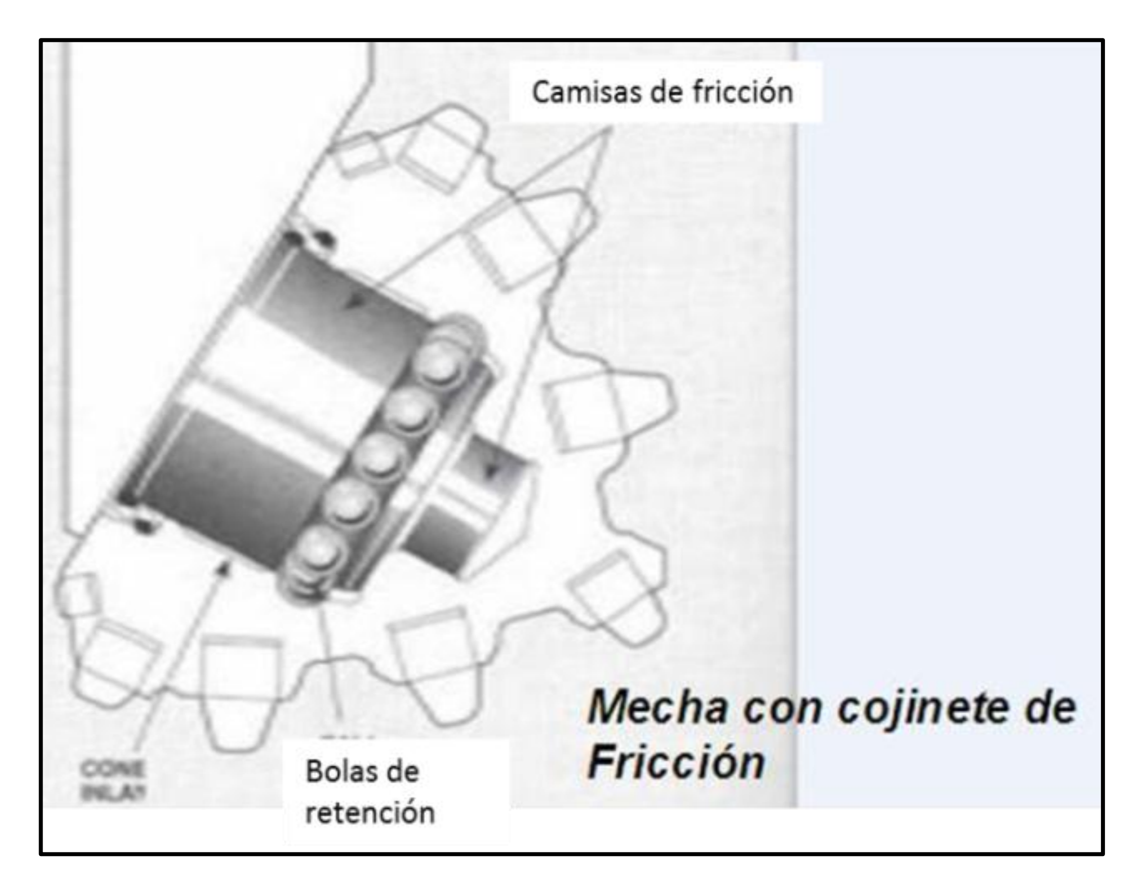
## 2) Cojinetes de fricción (F-B-F)

Son utilizados en aplicaciones con formaciones duras y son denominados cojinetes F-B-F, compuestos por camisa de fricción, bolas de retención del cono y camisas de fricción, en la parte principal, intermedia y secundaria, respectivamente[73].

[71] Gerencia de Entrenamiento y Desarrollo & Gerencia Regional de Servicios Técnicos, Introducción a Brocas PDC, Smith Internacional, 2003; pág. 27
[72] Ídem. Pág. 27
[73] Ídem. Pág. 25

**FIGURA N° II. XXIII**

**COJINETE F-B-F**




**Fuente:** PetrolBlogger[74]

Los cojinetes F-B-F tienen cuatro diseños básicos[75]:

- ❖ Tipo almohadilla de fricción.
- ❖ Tipo manga segmentada.
- ❖ Tipo chumacera sólida.
- ❖ Tipo manda espinodal hendida.

Estos cojinetes poseen características distintas y su uso depende de la aplicación, permitiendo soportar las cargas aplicadas sobre el trépano y otros funcionando como reductores de velocidad, manteniendo el cojinete estable y alineado, aumentando la vida útil.

[74] http://achjij.blogspot.com/2011/06/mechas-e-hidraulica-aplicadas-para-las.html, (Junio del 2006)
[75] COLUMBA, Julio César, Determinación del trépano adecuado para la perforación en el sub-andino sur aplicado a las formaciones del devónico, U.A.G.R.M., Bolivia, 2003; pág. 8

**iv) Sistema de ecualización de presión.**

Tiene como función principal igualar las diferencias de presión a lo largo de los sellos[76].

Existen dos tipos de sistemas de ecualización de presión en los trépanos tricónicos[77]:

**1) Sistema tipo tapa sombrerete:**

Consiste en una tapa de sombrerete con agujeros que permite la comunicación con la carga hidrostática en el espacio anular creada por los fluidos de perforación.

**2) Sistema por venteo en forma de bóveda:**

Se caracteriza por una abertura o puerto en cada ensamblaje de la pierna, perforado a través de esta y arriba de los conos. Esta abertura permite a la presión hidrostática actuar en contra de un conjunto de mangas que permiten la ecualización de presión.

**v) Características de diseño.**

Las características de diseño en los trépanos tricónicos dependen del tipo de formación que se perfora.

Los factores de diseño considerados son[78]:

- Tipos de estructura de corte.
- Pierna del trépano.
- Cojinetes y sellos.
- Hidráulica del trépano.

[76] Gerencia de Entrenamiento y Desarrollo & Gerencia Regional de Servicios Técnicos, Introducción a Brocas PDC, Smith Internacional, 2003; pág. 30
[77] COLUMBA, Julio César, Determinación del trépano adecuado para la perforación en el sub-andino sur aplicado a las formaciones del devónico, U.A.G.R.M., Bolivia, 2003; pág. 7
[78] Unidad de Perforación y Mantenimiento de Pozo, Barrenas e Hidráulica de Perforación, PEMEX, México, 2000; pág. 5

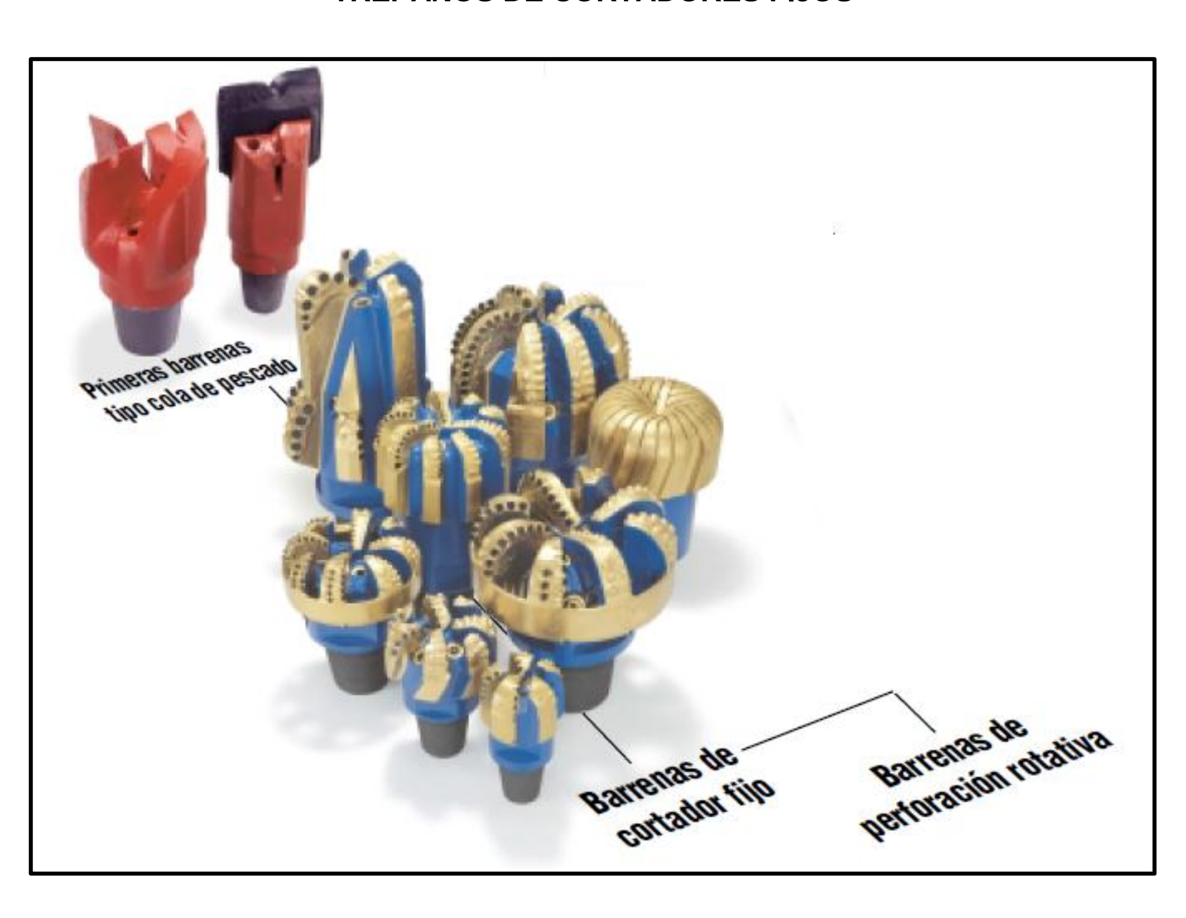
El espacio permitido a los componentes del trépano depende del tipo de formación. Los trépanos utilizados en aplicaciones con formaciones blandas requieren pesos bajos sobre el trépano, tienen cojinetes pequeños, espesor reducido de conos y sección de piernas delgadas, permitiendo un espacio mayor para los elementos de corte que son largos.

Los trépanos utilizados en aplicaciones con formaciones duras requieren pesos grandes sobre el trépano, tienen cojinetes grandes, espesor mayor de conos y elementos de corte robustos, piernas largas y cuerpos vigorosos.

### 2.7.2.2. Trépanos de cortadores fijos

**FIGURA N° II. XXIV**

**TRÉPANOS DE CORTADORES FIJOS**




**Fuente:** Besson Alain[79]

[79] BESSON, Alain, Bordes Cortantes, TotalFinaElf, Francia, 2001; pág. 39

Las barrenas de cortador fijo o barrenas de arrastre cuentan con cuchillas integradas que giran en conjunto. Las barrenas de arrastre con cortadores de acero, también conocidas como barrenas tipo cola de pescado debido a sus formas características, datan de la época de la perforación rotativa anterior a 1900. Estas cortaban las formaciones blandas en forma similar al arado, haciendo surcos o hendiduras en la tierra. Las modernas barrenas de cortador fijo con superficie de diamante también cortan las formaciones; las barrenas con diamantes suspendidos en cuchillas matriciales trituran las rocas y los cortadores de un compuesto policristalino de diamante (PDC, por sus siglas en inglés) cortan las rocas en forma similar como lo hace un torno[80].

**a) Trépanos de cortadores de diamante sintético.**

Los trépanos de cortadores de diamante sintético pertenecen al grupo de trépanos de cortadores fijos. No poseen partes móviles, sino superficies cortantes para desgastar, por lo que pueden perforar rápidamente durante períodos largos a ciertas condiciones operativas[81].

Están conformados por cuerpo y estructura cortadora.

**FIGURA N° II. XXV**

**TRÉPANO DE CORTADORES DE DIAMANTE SINTÉTICO**



**Fuente:** Smith[82]

[80] BESSON, Alain, Bordes Cortantes, TotalFinaElf, Francia, 2001; pág. 38
[81] Ídem. Pág. 39
[82] SMITH BIT, Product Catalog, 2013; pág. 22

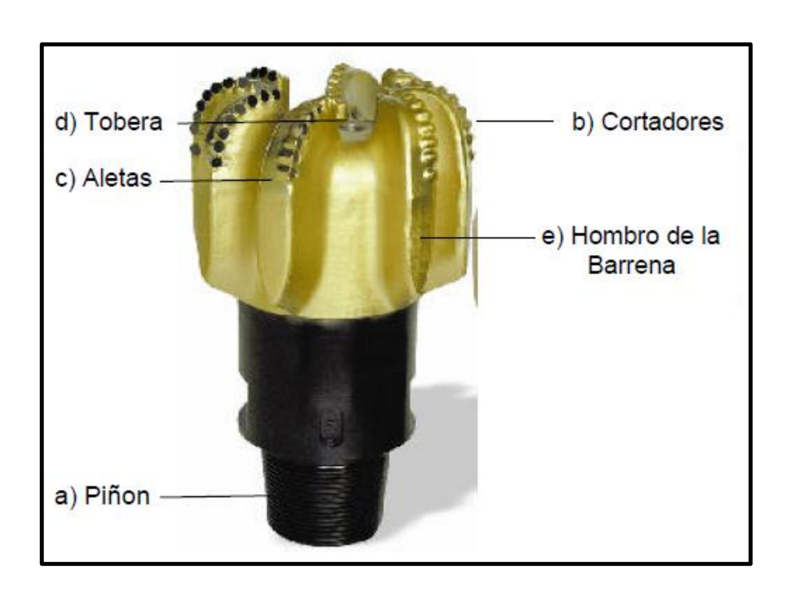
### i) Cuerpo del trépano.

El cuerpo de un trépano de cortadores de diamante sintético está conformado por[83]:

- ❖ Unión roscada (piñón).
- ❖ Elementos de corte.
- ❖ Aletas.
- ❖ Toberas (boquillas).
- ❖ Hombro del trépano.

**FIGURA N° II. XXVI**

**CUERPO DEL TRÉPANO DE CORTADORES DE DIAMANTE SINTÉTICO**




**Fuente:** Manual de Perforación[84]

Los trépanos en función de su tipo de cuerpo se clasifican en[85]:

- ❖ Trépanos de acero.

---

[83] http://librosdeingenieriagratis.com/manual-para-ayudante-perforador-cabo-malacetero/, Manual de Perforación, Manual para ayudante de perforador (cabo), perforador y malacatero, Documento electrónico, 2004; pág. 305
[84] Ídem. Pág. 306
[85] BESSON, Alain, Bordes Cortantes, TotalFinaElf, Francia, 2001; pág. 48

❖ Trépanos de matriz de carburo de tungsteno.

**1) Trépanos de acero.**

Fabricados de una sola pieza por lo que no poseen soldaduras y las características de diseño pueden ajustarse a las tolerancias. En áreas críticas puede aplicarse metales de dureza mayor como carburo de tungsteno[86].

**2) Trépanos de matriz con carburo de tungsteno.**

Fabricados en un molde, en el que se coloca polvo de carburo de tungsteno, una aleación adherente y un núcleo de acero y se procede a la sintetización.

Presentan fragilidad y resistencia a la erosión mayor en comparación con trépanos de acero[87].

**ii) Estructura cortadora.**

La estructura de corte es definida como un arreglo de cortadores sobre la cara del trépano, con el objetivo de suministrar una adecuada y completa cobertura del fondo del agujero, para enfrentar la dureza de la formación, abrasividad y sus principales vibraciones inducidas por la perforación[88].

Las clases de diamante sintético utilizados como parte de la estructura de corte son:

❖ Diamantes PDC (Compactos de diamantes poli-cristalino).

❖ Diamantes TSP (Poli-cristalino térmicamente estable).

Los procesos de manufactura de estas clases de cortadores de diamante son similares.

**1) Elementos de corte PDC.**

La manufactura del diamante PDC se realiza mediante la sintetización del carbón (grafito) y cobalto que actúa como catalizador y solvente. Se coloca de forma

[86] BESSON, Alain, Bordes Cortantes, TotalFinaElf, Francia, 2001; pág. 48 y 49
[87] Ídem. Pág. 48 y 49
[88] Gerencia de Entrenamiento y Desarrollo & Gerencia Regional de Servicios Técnicos, Introducción a Brocas PDC, Smith Internacional, 2003; pág. 78

alternada capas circulares delgadas de grafito y cobalto que se somete a altas presiones y temperaturas (T=2.732 °F y P=2.000 psi)[89]. El cobalto disuelve el grafito y deposita cristales de diamante en su lugar, que se conglomeran y se unen para formar una capa poli-cristalina de diamante denominada tabla de diamante sintético, en este caso tabla PDC (tabla en forma de disco)[90].

Se conforma un compacto integral formado por tablas PDC y substratos de carburo de tungsteno (cementados a las tablas de diamante). Este compacto integral se adhiere a un soporte de carburo de tungsteno para el montaje en el trépano. En los trépanos de cuerpo de acero, el compacto integral es montado a presión en agujeros labrados ligeramente más pequeños que el compacto[91].

En trépanos de matriz de carburo de tungsteno, el compacto integral es colocado en cavidades del molde antes de sintetizar a matriz[92].

**FIGURA N° II. XXVII**

**TRÉPANOS PDC**

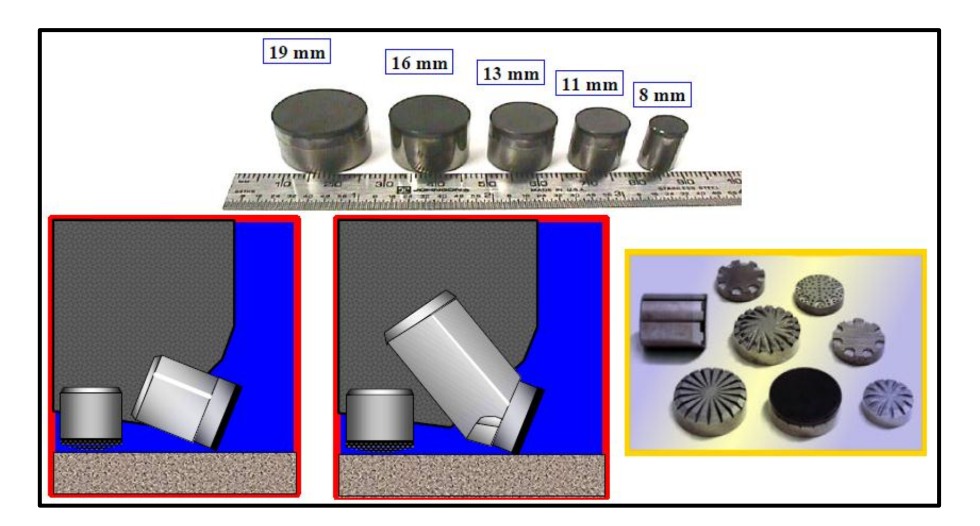


**Fuente:** Schlumberger[93]

[89] Gerencia de Entrenamiento y Desarrollo & Gerencia Regional de Servicios Técnicos, Introducción a Brocas PDC, Smith Internacional, 2003; pág. 9
[90] BESSON, Alain, Bordes Cortantes, TotalFinaElf, Francia, 2001; pág. 51
[91] Ídem. Pág. 48 y 49
[92] Ídem. Pág. 48
[93] Programa de Entrenamiento Acelerado para Supervisores, Selección de barrenas en el proceso de construcción de pozos, Schlumberger, 2004; pág. 6

**FIGURA N° II. XXVIII**

**ELEMENTOS DE CORTE PDC**




**Fuente:** Schlumberger[94]

**2) Cortador de diamante TSP.**

La tabla de diamante sintético TSP se logra de dos maneras:

- **Sintetización de carbón y cobalto y tratamiento con ácido para remoción del cobalto.**

Se realiza de la misma manera que la tabla PDC. Las tablas son tratadas con ácido para extraer el cobalto, formando una tabla de diamante sintético, en este caso tabla TSP (tabla en forma de disco)[95].

- **Sintetización de carbón y silicio.**

Se colocan de forma alternada capas delgadas circulares de grafito y silicio y se somete a presiones y temperaturas altas (T=2.732 °F y P=2.000.000 psi)[96]. El silicio que actúa como catalizador reacciona con las partículas de diamante formando carburo de silicio que disuelve el grafito y deposita cristales de diamante en su lugar, que se conglomeran y unen para formar una capa poli-cristalina de

[94] Programa de Entrenamiento Acelerado para Supervisores, Selección de barrenas en el proceso de construcción de pozos, Schlumberger, 2004; pág. 7
[95] Gerencia de Entrenamiento y Desarrollo & Gerencia Regional de Servicios Técnicos, Introducción a Brocas PDC, Smith Internacional, 2003; pág. 11 y 12
[96] BESSON, Alain, Bordes Cortantes, TotalFinaElf, Francia, 2001; pág. 51

diamante denominada tabla de diamante sintético, en este caso tabla TSP (tabla en forma de disco)[97].

Las tablas TSP son montadas de forma mecánica en el trépano ya que no pueden ser adheridas directamente a soportes de carburo de tungsteno (no conforman un compacto integral)[98].

En trépanos de acero, las tablas TSP son montadas a presión en agujeros labrados de diámetro menor que la tabla[99].

En trépanos de matriz de carburo de tungsteno, las tablas TSP son colocadas en cavidades de molde antes de sintetizar la matriz[100].

**FIGURA N° II. XXIX**

**TRÉPANOS TSP**

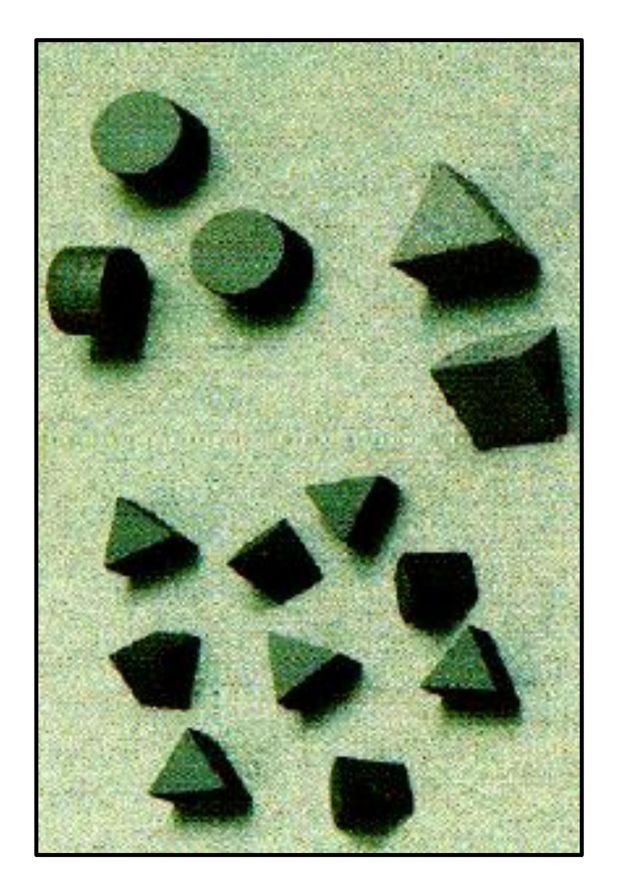


**Fuente:** Schlumberger[101]

[97] BESSON, Alain, Bordes Cortantes, TotalFinaElf, Francia, 2001; pág. 51
[98] Ídem. Pág. 51
[99] Ídem. Pág. 48 y 49
[100] Ídem. Pág. 48
[101] Programa de Entrenamiento Acelerado para Supervisores, Selección de barrenas en el proceso de construcción de pozos, Schlumberger, 2004; pág. 11

**FIGURA N° II. XXX**

**ELEMENTOS DE CORTE TSP**



**Fuente:** Schlumberger[102]

**3) Características de los cortadores de diamante sintético.**

Las características de los cortadores de diamante PDC y TSP son:

- Resistencia mayor al impacto que el diamante natural (no cuentan con planos de clivaje o resquebrajamiento)[103].
- Excelente resistencia a la abrasividad[104].

Entre las diferencias se tiene:

[102] Programa de Entrenamiento Acelerado para Supervisores, Selección de barrenas en el proceso de construcción de pozos, Schlumberger, 2004; pág. 11
[103] BESSON, Alain, Bordes Cortantes, TotalFinaElf, Francia, 2001; pág. 51
[104] Gerencia de Entrenamiento y Desarrollo & Gerencia Regional de Servicios Técnicos, Introducción a Brocas PDC, Smith Internacional, 2003; pág. 12

**CUADRO N° II. III**

**DIFERENCIAS ENTRE CORTADORES PDC Y TSP**

| Cortadores de diamante sintético PDC | Cortadores de diamante sintético TSP |
|---|---|
| Permanecen estables hasta 1.292 °F debido a la presencia de cobalto (el cobalto se expande más que el diamante). Por encima de 1.292 °F esta expansión quiebra el enlace entre el cobalto y el diamante provocando una falla en los cortadores. Los cortadores PDC tienen una resistencia térmica más baja que el diamante natural y que la tabla TSP[105]. | Permanecen estables a 2.100 °F (poseen una resistencia térmica más alta que la tabla PDC)[106]. |
| Las propiedades mecánicas son dependientes de la tabla de diamante y volumen de cobalto[107]. | No conforman un compacto integral (imposibilidad de ser adherido al soporte) limita sus aplicacionen[108]. |

**Fuente:** Besson-Smith

### iii)Características de diseño.

Los factores de diseño considerados para un trépano de cortadores de diamante sintético son[109]:

- Perfil del trépano.
- Tamaño y tipo de cortadores.
- Densidad de cortadores.
- Distribución de los cortadores.
- Estabilización del trépano.
- Hidráulica.

---

105 BESSON, Alain, Bordes Cortantes, TotalFinaElf, Francia, 2001; pág. 51

106 Gerencia de Entrenamiento y Desarrollo & Gerencia Regional de Servicios Técnicos, Introducción a Brocas PDC, Smith Internacional, 2003; pág. 13

107 BESSON, Alain, Bordes Cortantes, TotalFinaElf, Francia, 2001; pág. 51

108 Ídem. Pág. 51

109 Gerencia de Entrenamiento y Desarrollo & Gerencia Regional de Servicios Técnicos, Introducción a Brocas PDC, Smith Internacional, 2003; pág. 109

- Protección del calibre.

**b) Trépanos impregnados de diamante.**

Los trépanos impregnados de diamante pertenecen al grupo de trépanos de cortadores fijos, no poseen partes móviles, sino superficies cortantes para desgastar, por lo que pueden perforar rápidamente durante períodos largos a ciertas condiciones operativas[110].

Están conformados por el cuerpo del trépano y la estructura cortadora.

**i. Cuerpo del trépano.**

Al igual que los trépanos de cortadores de diamantes sintéticos, se clasifican en[111]:

- Trépanos de acero.
- Trépanos de matriz de carburo de tungsteno.

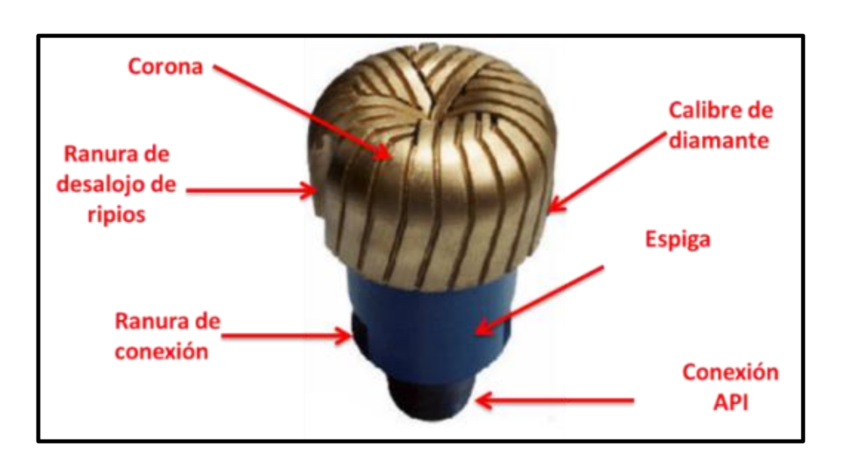
Las partes principales de un trépano impregnado son[112]:

- Conexión API.
- Ranura de conexión.
- Corona.
- Estructura cortadora.
- Ranura de desalojo.
- Calibre de diamante.
- Espiga.

[110] BESSON, Alain, Bordes Cortantes, TotalFinaElf, Francia, 2001; pág. 51
[110] Ídem. Pág. 39
[111] Ídem. Pág. 48
[112] Gerencia de Entrenamiento y Desarrollo & Gerencia Regional de Servicios Técnicos, Introducción a Brocas PDC, Smith Internacional, 2003; pág. 36 y 37

**FIGURA N° II. XXXI**

**PARTES DE UN TRÉPANO IMPREGNADO DE DIAMANTE**




**Fuente:** Schlumberger[113]

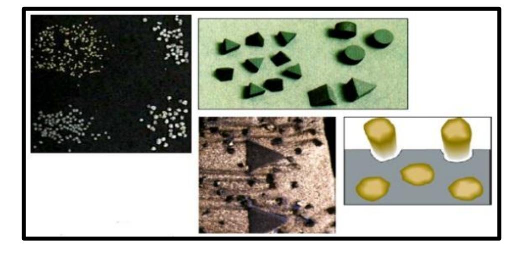
## ii. Estructura cortadora.

La estructura de corte es definido por un arreglo de cortadores de diamantes naturales sobre la cara del trépano, con el objetivo de suministrar una adecuada y completa cobertura del fondo del agujero. El diamante natural es el material más duro conocido en la actualidad.

No se utilizan piedras preciosas o gemas ya que son de buena calidad. Las piedras que se utilizan son de menor calidad, sólidas, con la suficiente redondez y bajo precio para justificar su uso[114].

**FIGURA N° II. XXXII**

**ELEMENTOS DE CORTE DE DIAMANTE NATURAL IMPREGNADO**



**Fuente:** Schlumberger[115]

[113] Programa de Entrenamiento Acelerado para Supervisores, Selección de barrenas en el proceso de construcción de pozos, Schlumberger, 2004; pág. 12
[114] COLUMBA, Julio César, Determinación del trépano adecuado para la perforación en el sub-andino sur aplicado a las formaciones del devónico, U.A.G.R.M., Bolivia, 2003; pág. 33

En el cuadro N° II. IV se muestran las características del diamante natural:

**CUADRO N° II. IV**

**CARACTERÍSTICAS DEL DIAMANTE NATURAL**

| **CARACTERÍSTICAS DEL DIAMANTE NATURAL** | | |
|---|---|---|
| **Características** | | **Descripción** |
| **Ventajas** | Coeficiente de fricción | Coeficiente de fricción menor entre todos los materiales conocidos[116]. |
| | Conductividad térmica | Conductividad térmica mayor entre todos los materiales conocidos[117]. |
| | Resistencia a la compresión. | 1,5 veces más resistente a la compresibilidad que el carburo de tungsteno[118].<br>20 veces más resistente a la compresión que el granito[119]. |
| | Resistencia a la abrasividad. | 100 veces más resistente a la abrasividad que el carburo de tungsteno[120]. |
| | Dureza | 10 veces más duro que el acero[121].<br>2 veces más duro que el carburo de tungsteno[122]. |
| | Resistencia al desgaste. | 10 veces más resistente al desgaste que el carburo de tungsteno[123]. |
| **Desventajas** | Resistencia al impacto. | Se resquebraja si las cargas de impacto se aplican en la dirección correcta, debido a sus planos de clivaje (resquebrajamiento)[124]. |

**Fuente:** Besson-Smith

115 Programa de Entrenamiento Acelerado para Supervisores, Selección de barrenas en el proceso de construcción de pozos, Schlumberger, 2004; pág. 13
116 Gerencia de Entrenamiento y Desarrollo & Gerencia Regional de Servicios Técnicos, Introducción a Brocas PDC, Smith Internacional, 2003; pág. 4
117 Ídem. Pág. 4
118 Ídem. Pág. 4
119 BESSON, Alain, Bordes Cortantes, TotalFinaElf, Francia, 2001; pág. 50
120 Gerencia de Entrenamiento y Desarrollo & Gerencia Regional de Servicios Técnicos, Introducción a Brocas PDC, Smith Internacional, 2003; pág. 4
121 BESSON, Alain, Bordes Cortantes, TotalFinaElf, Francia, 2001; pág. 50
122 Ídem. Pág. 50
123 Ídem. Pág. 50
124 Ídem. Pág. 51

### 2.7.2.3. Resumen de los trépanos

**CUADRO N° II. V**

**RESUMEN DE LOS TRÉPANOS.**

| **CUADRO RESUMEN DE LOS TRÉPANOS** | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **Tipo de trépano** | **Componentes** | **Usos** | **Ventajas** | **Desventajas** |
| Trépano tricónico. | Cuerpo.<br>Estructura cortante.<br>Sistema de rodamientos. | **Dientes de acero**<br>Formaciones blandas.<br>Formaciones de dureza media.<br>Formaciones duras.<br>**Insertos de carburo de tungsteno**<br>Formaciones blandas.<br>Formaciones de dureza media.<br>Formaciones duras y abrasivas.<br>Formaciones de abrasividad media. | Alta resistencia al impacto.<br>Disminuyen la torsión en el fondo del pozo.<br>Precios económicos. | Poseen partes móviles.<br>Se desgastan rápidamente.<br>Perforan a RPM bajas.<br>Requieren WOB altos. |
| Trépanos de cortadores de diamante sintético. | Cuerpo.<br>Estructura cortante. | Formaciones blandas.<br>Formaciones duras y de abrasividad baja.<br>Formaciones duras y de abrasividad alta. | No poseen partes móviles.<br>Perforan a RPM altas.<br>Alta resistencia a la abrasividad.<br>Tienen larga vida. | No resisten impactos altos.<br>Generan torsión en el fondo del pozo. |
| Trépanos impregnados de diamante. | Cuerpo.<br>Estructura cortante. | Formaciones blandas.<br>Formaciones de dureza media.<br>Formaciones de dureza alta.<br>Formaciones de dureza y abrasividad altas. | No poseen partes móviles.<br>Perforan a RPM altas.<br>Alta resistencia a la abrasividad.<br>Tienen larga vida. | No resisten impactos altos.<br>Generan torsión en el fondo del pozo.<br>Requieren WOB altos. |

**Fuente:** Bourgoyne Adam[125]

[125] BOURGOYNE, Adam, Applied Drilling Engineering, Society of Petroleum Engineers, Estados Unidos, 1986; pág. 190-196

## 2.8. CODIGOS IADC

La "Asociación Internacional de Contratistas de perforación" (IADC) desarrolló códigos o sistemas estandarizados, aplicados a la ingeniería de perforación de pozos petroleros[126].

En el presente estudio, se aplicarán los códigos IADC para:

- Trépanos de cortadores fijos.
- Trépanos desgastados.

### 2.8.1. CODIGO IADC PARA TREPANOS DE CORTADORES FIJOS.

El código IADC para trépanos de cortadores fijo incluye trépanos de cortadores de diamante sintético y trépanos impregnados de diamante.[127]

Identifica las principales características del trépano sin representar una guía para su aplicación, debido a que no los relaciona con la aplicación[128].

Consiste en cuatro dígitos[129]:

a) **Primer dígito.** Identifica el cuerpo del trépano.

b) **Segundo dígito.** Identifica el tamaño de cortadores en trépanos PDC y la densidad de cortadores en trépanos de diamantes.

c) **Tercer dígito.** Identifica el tamaño de cortador en trépanos PDC y el tipo de cortador en trépanos de diamante.

d) **Cuarto dígito.** Identifica el tipo de perfil del cuerpo.

---

[126] Unidad de Perforación y Mantenimiento de Pozo, Barrenas e Hidráulica de Perforación, PEMEX, México, 2000; pág. 7
[127] Ídem. Pág. 9
[128] Programa de Entrenamiento Acelerado para Supervisores, Selección de barrenas en el proceso de construcción de pozos, Schlumberger, 2004; pág. 30
[129] Ídem. Pág. 30

**CUADRO N° II. VI**

**CÓDIGO IADC PARA TRÉPANOS DE CORTADORES FIJOS**

| CODIGO IADC PARA TRÉPANOS DE CORTADORES FIJOS | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Primer Dígito** | **Tipo de trépano** | **Segundo Dígito** | | **Tercer Dígito** | | **Cuarto Dígito** | |
| **Material del trépano** | | **Cantidad de cortadores** | | **Tamaño de cortadores** | | **Perfil del trepano** | |
| S | PDC | 1 | Menor a 30 | 1 | Mayor a 25 mm | 1 | Plano |
| S | PDC | 2 | De 30 a 41 | 2 | De 14 a 25 mm | 2 | Corto |
| M | PDC | 3 | De 41 a 50 | 3 | De 8 a 14 mm | 3 | Medio |
| M | PDC | 4 | Mayor a 51 | 4 | Menor a 8 mm | 4 | Largo |
| **Material del trépano** | **Tipo de trépano** | **Densidad de cortadores** | | **Tipo del cortador** | | **Perfil del trépano** | |
| S | Diamantes | 6 | Mayor de 6 P/Q | 1 | Diamante natural | 1 | Plano |
| S | Diamantes | 6 | Mayor de 6 P/Q | 2 | Cortadores TSP | 2 | Corto |
| M | Diamantes | 7 | De 3 a 7 P/Q | 3 | Diamante Natural y TSP | 3 | Medio |
| M | Diamantes | 8 | Menor a 7 P/Q | 4 | Impregnado | 4 | Largo |

**Fuente:** Schlumberger[130]

[130] Programa de Entrenamiento Acelerado para Supervisores, Selección de barrenas en el proceso de construcción de pozos, Schlumberger, 2004; pág. 30

### 2.8.2. CODIGO IADC PARA TREPANOS DESGASTADOS

El código IADC para trépanos desgastados es una metodología estándar para describir a trépanos desgastados o utilizados. Esta información es esencial para el análisis en la operación de trépanos[131].

La metodología describe 8 características básicas como son[132]:

- Análisis de cortadores (hileras interiores y exteriores).
- Características del desgaste.
- Sello de cojinetes.
- Diámetro del trépano.
- Otras características.
- Motivo de extracción del trépano.

El código para trépanos desgastados en trépanos de cortadores fijos consiste de cuatro cuerpos que incluyen ocho dígitos.

#### 2.8.2.1. Primer cuerpo

Realiza un análisis de la estructura cortante, grado de desgaste, características de ubicación:

a) **Primer dígito.** Se realiza un análisis de los cortadores en sus hileras interiores, que corresponden a cortadores ubicados en el 2/3 del radio del trépano[133].
b) **Segundo dígito.** Se realiza un análisis de los cortadores en sus hileras exteriores, que corresponden a cortadores ubicados en el 1/3 restante del radio del trépano[134].

La estructura de corte se califica de 0 a 8 dependiendo del porcentaje de estructura de corte utilizada. El número cero corresponde a un cortador intacto

[131] Programa de Entrenamiento Acelerado para Supervisores, Selección de barrenas en el proceso de construcción de pozos, Schlumberger, 2004; pág. 37
[132] Ídem. Pág. 38
[133] Ídem. Pár. 38
[134] Ídem. Pág. 38

(0% de uso) y ocho corresponde a un cortador completamente gastado (100% de uso)[135].

c) **Tercer dígito.** Se realiza un análisis de las características de desgaste identificando en el primer y segundo dígito[136] según el cuadro N° II. VII:

**CUADRO N° II. VII**

**TERCER DÍGITO DEL CÓDIGO IADC PARA TRÉPANOS DESGASTADOS**

| TERCER DÍGITO | |
|---|---|
| **Características del desgaste** | **Símbolo** |
| Falla de Adherencia | BF |
| Cortadores Rotos | BT |
| Embolado | BU |
| Cortadores cincelados | CT |
| Erosión | ER |
| Dañado por Calor | HC |
| Daño por chatarra metálica | JD |
| Tobera Perdida | LN |
| Cortador perdido | LT |
| No se puede volver a correr | NR |
| Tobera tapada | PN |
| Diámetro externo desgastado | RG |
| Desgaste anillado | RO |
| Se puede volver a correr | RR |
| Desgaste de autoafilado | SS |
| Tracking | TR |
| Trépano lavado | WO |
| Cortadores gastados | WT |
| No tiene características de desgaste | NO |

**Fuente:** Schlumberger[137]

d) **Cuarto dígito.** Identifica la ubicación del desgaste, relacionado con los anteriores dígitos según el cuadro II. VIII:

[135] Programa de Entrenamiento Acelerado para Supervisores, Selección de barrenas en el proceso de construcción de pozos, Schlumberger, 2004; pág. 38
[136] Ídem. Pág. 39
[137] Ídem pág. 39

**CUADRO N° II. VIII**

**CUARTO DÍGITO DEL CÓDIGO IADC PARA TRÉPANOS DESGASTADOS**

| CUARTO DÍGITO | |
|---|---|
| **Ubicación** | **Símbolo** |
| Cono | C |
| Nariz | N |
| Ahusamiento | T |
| Hombro | S |
| Diámetro | G |

**Fuente:** Schlumberger[138]

### 2.8.2.2. Segundo Cuerpo

Realiza un análisis de las características de desgaste en el sistema de rodamientos y sellos.

**a) Quinto dígito.** Corresponde a trépanos tricónicos, debido a que los trépanos de cortadores fijos carecen de sistemas de rodamientos y sellos, en su casilla se designa la letra “X”[139].

### 2.8.2.3. Tercer Cuerpo

Realiza un análisis de las características de desgaste en el calibre del trépano:

**a) Sexto dígito.** Determina el desgaste en el diámetro. Trépanos que presentan el diámetro completo, que no han sufrido desgaste en su calibre se designan con letra “L”. Los trépanos que presentan un calibre menor, se registran al 1/16” más cercano de una pulgada del desgaste presentado[140].

[138] Programa de Entrenamiento Acelerado para Supervisores, Selección de barrenas en el proceso de construcción de pozos, Schlumberger, 2004; pág. 53
[139] Ídem. Pág. 54
[140] Ídem. Pág. 55

### 2.8.2.4. Cuarto Cuerpo

Realiza un análisis de las características de desgaste secundarias y el motivo de extracción del trépano.

a) **Séptimo dígito.** Determina las características de desgaste secundarias que se presentan en trépanos. Se utiliza la clasificación del desgaste del tercer dígito[141].

b) **Octavo dígito.** Registra las condiciones del motivo de extracción del trépano[142], según el cuadro N° II. IX:

**CUADRO N° II. IX**

**OCTAVO DÍGITO DEL CÓDIGO IADC PARA TRÉPANOS DESGASTADOS**

| MOTIVO DE EXTRACCIÓN DEL TRÉPANO | Símbolo |
|---|---|
| Cambiar el ensamble de fondo de pozo | BHA |
| Falla del motor en el pozo | DMF |
| Falla de la sarta de perforación | DSF |
| Prueba de la Sarta de perforación | DST |
| Falla de la herramienta de fondo de pozo | DTG |
| Reparación del equipo de perforación | RIG |
| Condición del lodo | CM |
| Punto para sacar núcleos | CP |
| Taponamiento del pozo | DP |
| Cambio de formación | FM |
| Problemas de pozo | HP |
| Horas | HR |
| Presión de Bombeo | PP |
| Velocidad de perforación | PR |
| Profundidad total / Punto para tubería de revestimiento | TD |
| Torque | TQ |
| Torque excesivo | TW |
| Condiciones climáticas | WC |
| Rotura de la sarta de perforación por fuga hidráulica | WO |

**Fuente:** Schlumberger[143]

141 Programa de Entrenamiento Acelerado para Supervisores, Selección de barrenas en el proceso de construcción de pozos, Schlumberger, 2004; pág. 56
142 Ídem. Pág. 57
143 Ídem. Pág. 57

## 2.9. OPERACION DE TREPANOS

La operación de los trépanos se define por tres parámetros[144]:

- ❖ Peso sobre trépano (WOB).
- ❖ Velocidad de rotación (RPM).
- ❖ Hidráulica de perforación.

### 2.9.1. PESO SOBRE TREPANO (WOB)

Carga aplicada al trépano por medio de los porta-mechas, La penetración de la formación se realiza cuando la carga aplicada supera la resistencia de la roca o formación. La resistencia de la formación en relación con el peso sobre el trépano se puede medir a través de la velocidad de penetración. La ausencia de avance en la velocidad de penetración puede ser ocasionada por[145]:

- ❖ Embotamiento del trépano.
- ❖ Se perfora una formación de dureza mayor para la cual el trépano está diseñado.
- ❖ Finaliza la vida útil del trépano.

### 2.9.2. VELOCIDAD DE ROTACION (RPM)

Cantidad de vueltas por minuto transmitida a la sarta de perforación y al trépano[146].

En formaciones blandas (suaves), la velocidad de perforación es directamente proporcional a la velocidad de rotación (RPM). En formaciones duras, la velocidad de rotación disminuye así como la velocidad de penetración, explicando el motivo

[144] http://librosdeingenieriagratis.com/manual-para-ayudante-perforador-cabo-malacetero/, Manual de Perforación, Manual para ayudante de perforador (cabo), perforador y malacatero, Documento electrónico, 2004; pág. 319
[145] Ídem. Pág. 320
[146] Ídem. Pág. 320

del por qué en formaciones blandas es importante la velocidad de penetración (RPM) y no el peso sobre el trépano (WOB); al contrario en formaciones duras[147].

### 2.9.3. HIDRAULICA DE PERFORACION

La hidráulica comprende cuatro funciones básicas[148]:

- Separación de los recortes desprendidos.
- Limpieza de la estructura cortante.
- Enfriamiento del trépano.
- Transporte de los recortes hacia la superficie.

Los objetivos de un programa de hidráulica de trépanos son[149]:

- Incrementar la velocidad de penetración, en función de una efectiva limpieza del agujero.
- Evitar o disminuir la erosión excesiva de las paredes del agujero, y no provocar derrumbes o deslaves.
- Controlar las pérdidas de presión en el sistema de circulación.

Deficiencias en la hidráulica ocasionan problemas en el trépano como:

- Embolado.
- Erosión de las toberas o boquillas y/o trépano.
- Cortadores y/o trépano dañados por temperaturas altas.
- Toberas y/o boquillas tapadas.

[147] http://librosdeingenieriagratis.com/manual-para-ayudante-perforador-cabo-malacetero/, Manual de Perforación, Manual para ayudante de perforador (cabo), perforador y malacatero, Documento electrónico, 2004; pág. 320
[148] BESSON, Alain, Bordes Cortantes, TotalFinaElf, Francia, 2001; pág. 47
[149] Unidad de Perforación y Mantenimiento de Pozo, Barrenas e Hidráulica de Perforación, PEMEX, México, 2000; pág. 80, 81 y 82

Los métodos de optimización de hidráulica se relacionan directamente con el diámetro de las toberas y/o boquillas[150].

## 2.10. CALCULO DE LAS BOQUILLAS DEL TREPANO[151]

Esta serie de fórmulas determinarán el correcto tamaño de boquillas cuando se optimizan por el impacto de las boquillas, del caballo vapor hidráulico y óptima relación de flujo de dos o tres boquillas.

**a) Área de las boquillas en $pulg^2$**

$$\acute{A}rea\ de\ las\ boquillas\ = \frac{{N_1}^2+{N_2}^2+{N_3}^2}{1308.8}$$

Donde: N representa las boquillas

Área de las boquillas está dada en $pulg^2$

**b) Pérdida de presión en las boquillas del trépano, $P_b$ (Psi)**

$$P_b = \frac{(gpm)^2 * MW}{10858*\left(\acute{A}rea\ de\ las\ boquillas\right)^2}$$

Donde:

MW = Peso del lodo en lb/gal

Área de las boquillas en $pulg^2$

Gpm = galones por minuto

**c) La pérdida de presión total, excepto la pérdida de presión en las boquillas del trépano.**

$$PC_1 = Presi\acute{o}n\ de\ circulaci\acute{o}n\ bomba\ 1 - P\acute{e}rdida\ de\ presi\acute{o}n\ en\ las\ boquillas\ del\ tr\acute{e}pano$$

$$PC_2 = Presi\acute{o}n\ de\ circulaci\acute{o}n\ bomba\ 2 - P\acute{e}rdida\ de\ presi\acute{o}n\ en\ las\ boquillas\ del\ tr\acute{e}pano$$

[150] Unidad de Perforación y Mantenimiento de Pozo, Barrenas e Hidráulica de Perforación, PEMEX, México, 2000; pág. 81

[151] Extraído de apuntes de clases de la materia de ing. en perforación.

$PC_1$ y $PC_2$: Ecuaciones 3 y 4.

Donde $PC_1$, $PC_2$ y  las presiones están dadas en Psi.

**d) Determinación de la línea de pendiente M**

$$M = \frac{\log(PC_1 \div PC_2)}{\log(Q_1 \div Q_2)}$$

**e) Óptima pérdida de presión ($P_{opt}$)**

**1)** Por fuerza de impacto

$$P_{opt} = \frac{2}{M+2} * P_{max}$$

**2)** Por caballo vapor hidráulico

$$P_{opt} = \frac{1}{M+1} * P_{max}$$

**f) Para la relación óptima de flujo ($Q_{opt}$)**

**1)** Por fuerza de impacto.

$$Q_{opt} = \left(\frac{P_{opt}}{P_{max}}\right)^{\frac{1}{M}} * Q_1$$

Donde $Q_{opt}$ está dado en gpm (Gal/min)

**2)** Por caballo vapor hidráulico

$$Q_{opt} = \left(\frac{P_{opt}}{P_{max}}\right)^{\frac{1}{M}} * Q_1$$

Donde: $Q_{opt}$ está dado en gpm (Gal/min)

**g) Para determinar la presión en el trépano ($P_b$).**

$$P_b = P_{max} - P_{opt}$$

**h) Para determinar el área en las boquillas, en pulg$^2$.**

$$Área\ en\ las\ boquillas = \sqrt{\frac{{Q_{opt}}^2 * MW}{10858 * P_{max}}}$$

**i) Para determinar las boquillas, en 32$^{avo}$ de pulg, para tres boquillas.**

$$boquillas = \sqrt{\frac{Área\ de\ las\ boquillas}{3 * 0.7854}} * 32$$

**j) Para determinar las boquillas, en 32$^{avo}$ de pulg, para dos boquillas.**

$$boquillas = \sqrt{\frac{Área\ de\ las\ boquillas}{2 * 0.7854}} * 32$$

**Ejemplo:**

Optimizar la hidráulica de un trépano de un pozo con la siguiente información.

Seleccionar los apropiados tamaños de boquillas para la fuerza de impacto y caballos vapor hidráulico para dos y tres boquillas.

**Datos:**

MW (Peso del lodo) =13 lb/gal

Tamaño de boquillas = 17 – 17 – 17

Máxima presión de superficie = 3000 Psi.

Presión de bomba 1 = 3000 Psi.

Razón de la bomba 1 = 420 gal/min

Presión de bomba 2 = 1300 Psi.

Razón de bomba 2 = 275 gal/min.

**a) Área de las boquillas.**

$$Área\ de\ las\ boquillas\ = \frac{17^2 + 17^2 + 17^2}{1308.8}$$

$$Área\ de\ las\ boquillas = 0.6624\ pulg^2$$

**b) Pérdida de presión en las boquillas.**

$$P_{b1} = \frac{(420)^2 * 13}{10858 * 0.6624^2} = 481\ Psi$$

$$P_{b2} = \frac{(275)^2 * 13}{10858 * 0.6624^2} = 206\ Psi$$

**c) Pérdida de presión total, excepto la pérdida de presión en las boquillas del trépano.**

$$PC_{\mathbf{1}} = 3000\ Psi - 481\ Psi = 2519\ Psi$$

$$PC_{\mathbf{2}} = 1300\ Psi - 206\ Psi = 1094\ Psi$$

**d) Línea de pendiente M.**

$$M = \frac{\log(2519 \div 1094)}{\log(420 \div 275)} = 1.97$$

**e) Óptima pérdida de presión.**

**1)** Por fuerza de impacto

$$P_{opt} = \frac{2}{1.97 + 2} * 3000 = 1511\ Psi$$

**2)** Por caballo vapor hidráulico

$$P_{opt} = \frac{1}{1.97 + 1} * 3000 = 1010\ Psi$$

**f) Óptima relación de flujo.**

**1)** Por fuerza de impacto.

$$Q_{opt} = \left(\frac{1511}{3000}\right)^{\frac{1}{1.97}} * 420 = 297 gpm$$

**2)** Por caballo vapor hidráulico

$$Q_{opt} = \left(\frac{1010}{3000}\right)^{\frac{1}{1.97}} * 420 = 242gpm$$

**g) Pérdida de presión en el trépano.**

**1)** Por fuerza de impacto

$$P_b = 3000 - 1511 = 1489\ Psi$$

**2)** Por caballo vapor hidráulico

$$P_b = 3000 - 1010 = 1990\ Psi$$

**h) Área de las boquillas**

**1)** Por fuerza de impacto

$$Área\ en\ las\ boquillas = \sqrt{\frac{297^2 * 13}{10858 * 1489}} = 0.2663\ pulg^2$$

**2)** Por caballos vapor hidráulico

$$Área\ en\ las\ boquillas = \sqrt{\frac{242^2 * 13}{10858 * 1990}} = 0.1877\ pulg^2$$

**i) Tamaño de las boquillas, para tres boquillas.**

**1)** Por fuerza de impacto.

$$boquillas = \sqrt{\frac{0.2663}{3 * 0.7854}} * 32 = 10.76$$

**2)** Por caballos vapor hidráulico

$$boquillas = \sqrt{\frac{0.1877}{3 * 0.7854}} * 32 = 9.03$$

**NOTA.-** generalmente el tamaño de las boquillas tendrá una fracción decimal. El triple de la fracción decimal determinará cuántas boquillas deberán ser más grandes que lo calculado.

**1)** Por fuerza de impacto

$$0.76 * 3 = 2.28$$

Alrededor de dos boquillas deberán ser más grandes que lo calculado (9/32 avo de pulgada).

Tal que 1 boquilla de 10/32 avo de pulgada y 2 boquillas de 11/32 avo de pulgada.

**2)** Por caballos vapor hidráulico.

$$0.03 * 3 = 0.09$$

Alrededor de cero boquillas deberán ser más grandes que lo calculado (9/32 avo de pulgada)

Tal que las 3 boquillas serán de 9/32 avo de pulgada

**j) Tamaño de las boquillas, para dos boquillas.**

**1)** Por fuerza de impacto.

$$boquillas = \sqrt{\frac{0.2663}{2 * 0.7854}} * 32 = 13.18$$

$$0.18 * 3 = 0.54$$

Alrededor de una boquilla deberá ser más grande que lo calculado.

Tal que una boquilla será de 13/32 avo de pulgada y la otra de 14/32 avo de pulgada.

**2)** Por caballos vapor hidráulico.

$$boquillas = \sqrt{\frac{0.1877}{2 * 0.7854}} * 32 = 11.06$$

$$0.06 * 3 = 0.18$$

Alrededor de cero boquillas deberán ser más grandes que lo calculado.

Tal que las dos boquillas serán de 11/32 avo de pulgada.

## 2.11. SELECCION DE TREPANOS

La selección correcta de los trépanos es un factor muy importante en el planteamiento y en la ejecución de un plan de perforación. Una selección precisa y acertada va a ayudar para lograr una perforación libre de problemas[152].

Al efectuar la selección se deberán tener en cuenta los siguientes factores[153]:

- Costo del trépano.
- Tipo de formación a perforar.
- Costo diario de operación.
- Sistema de lodos en uso.
- Una perforación de costo mínimo dependerá de tres factores principales[154]:
- Selección de los tipos adecuados de trépanos.

[152] ADAMS, Neal, Drilling Engineering, A Complete Well Planning Approach, PennWell Publishing Company, Estados Unidos, 1985; pág. 152
[153] Ídem. Pág. 152
[154] FLORES, Walter, Compilación sobre perforaciones e hidráulica, Facultad de Tecnología, U.A.G.R.M., Bolivia, 2004; pág. 2

- Un control certero y continuo de las condiciones de operación.
- Selección de la combinación más económica de peso sobre la broca y RPM.

### 2.11.1. CRITERIOS DE SELECCION DE TREPANOS SEGUN PEMEX Y SCHLUMBERGER

Según PEMEX y Schlumberger, los aspectos que se deben analizar para la selección de barrenas son los siguientes[155]:

- Datos de pozos vecinos.
- Objetivos.
- Geología de la zona.
- Limitaciones.
- Otros.

#### 2.11.1.1. Datos de pozos vecinos

Se deben tomar en cuenta los siguientes puntos de referencia[156]:

- Registros eléctricos.
- Registros de barrenas.
- Registros de lodos.
- Reportes diarios de perforación y de herramientas de fondo.
- Desempeño de pozo promedio.
- Desempeño de intervalo promedio.

---

[155] PEMEX-Schlumberger, Programa de entrenamiento acelerado para ingenieros supervisores de pozo, Sección 9: Selección y Evaluación de Barrenas, PEMEX-Schlumberger, México, 2006; pág. 36
[156] Ídem. Pág. 43, 44 y 45

- Desempeño de corrida individual promedio.

- Promedios seleccionados (el mejor o el más reciente).

- Promedios seleccionados (por otros datos).

#### 2.11.1.2. Objetivos

Con relación a los objetivos, se deben tomar en cuenta los siguientes aspectos[157]:

- Durabilidad, velocidad de perforación, direccional, costo, condición de desgaste, horas, (normalmente todo).

- Determinar la viabilidad.

- Finalizar y llegar a un acuerdo respecto a los objetivos.

#### 2.11.1.3. Limitaciones

También se debe hacer un reconocimiento de las limitaciones[158]:

- Restricciones de operación (especificación del equipo de perforación, etc.)

- Restricciones contractuales.

- Restricciones económicas.

- Cambios de mentalidad.

#### 2.11.1.4. Otros

Otros aspectos importantes que deben ser tomados en cuenta para la selección de trépanos son[159]:

- Propiedades del lodo (fluido base, densidad, aditivos, etc.)

[157] PEMEX-Schlumberger, Programa de entrenamiento acelerado para ingenieros supervisores de pozo, Sección 9: Selección y Evaluación de Barrenas, PEMEX-Schlumberger, México, 2006; Pág. 47
[158] Ídem. Pág. 49
[159] Ídem. Pág. 51 y 52

- Hidráulica de la barrena (especialmente crítica en WBM).
- Tasas de circulación (gasto) máximo/mínimo.
- Lubricidad del lodo (efectos en la vibración y en las barrenas impregnadas).
- Logística.
- Lugares remotos que requieren una gran carga de inventario.
- Planeación para contingencias.
- Se necesita cubrir todas las posibilidades potenciales.
- Únicamente se puede lograr por medio de comunicaciones efectivas.
- Aspectos económicos.
- Impacto potencial en los ingresos totales.

### 2.11.2. ANALISIS DEL BREAK-EVEN POINT

Antes de decidir el uso de un trépano costoso, a través de una zona perforada por un trépano económico, es necesario predecir el rendimiento del trépano propuesto[160], lo cual puede ser realizado mediante un Análisis del Break-even point.

El análisis proporciona comparaciones de costos que involucran tipos de trépano, fluidos de perforación, condiciones requeridas de perforación y otras variables[161].

El principal objetivo de la operación de perforación es obtener ganancias y cualquier comparación debe ser orientada hacia los costos de perforación o costos por metro[162].

[160] Baker-Hughes, Drilling Engineering Workbook, A Learning Course, Baker Hughes Inteq Training & Development, Estados Unidos, 1995; pág. 355
[161] Ídem. Pág. 355
[162] Ídem. Pág. 355

El costo previsto del trépano propuesto se compara con el costo de trépanos utilizados, en la misma región y bajo condiciones similares de perforación. Los pozos empleados en las comparaciones son pozos vecinos o pozos de correlación (offset)[163].

#### 2.11.2.1. Ecuaciones empleadas para el análisis del Break-even point.

A continuación se presentan las ecuaciones utilizadas para el desarrollo del análisis y el proceso de construcción de la gráfica del Break-even point.

**a) Costo por metro del trépano.**

La ecuación de costo por metro tiene la siguiente ecuación matemática[164]:

**ECUACION N° II. I**

**COSTO POR METRO DEL TRÉPANO**

$$C_M = \frac{C_T + (C_{Eq} * T_T)}{L_P}$$

Donde:

$C_M = Costo\ por\ metro\ [\$us/m]$
$C_T = Costo\ del\ trépano\ [\$us]$
$C_{Eq} = Costo\ de\ operación\ del\ equipo\ de\ perforación\ [\$us/hr]$
$T_T = Tiempo\ total\ [hrs]$
$L_P = Longitud\ perforada\ [m]$

El tiempo total se es definido bajo la siguiente formula[165]:

---

[163] Unidad de Perforación y Mantenimiento de Pozo, Barrenas e Hidráulica de Perforación, PEMEX, México, 2000; pág. 44
[164] Ídem. Pág. 44
[165] Ídem. Pág. 44

**ECUACION N° II. II**

**TIEMPO TOTAL**

$$T_T = T_P + T_V$$

Donde:

$T_T = Tiempo\ total\ [hrs]$
$T_P = Tiempo\ de\ perforación\ [hrs]$
$T_V = Tiempo\ de\ viaje\ [hrs]$

El tiempo de viaje es determinado mediante[166]:

**ECUACION II. III**

**TIEMPO DE VIAJE**

$$T_V = 0{,}004 * P$$

Donde:

$T_V = Tiempo\ de\ viaje\ [hrs]$
$P = Profundidad\ de\ entrada\ [m]$

### b) Costo por metro promedio.

El pozo presenta distintos costos por metro en todas sus fases. La ecuación de costo por metro promedio se define como[167]:

**ECUACION II. IV**

**COSTO METRICO PROMEDIO**

$$C_{MP} = \left[\frac{(C_{Mi} * L_{Pi}) + (C_{Mi+1} * L_{Pi+1}) + \ldots + (C_{Mn-1} * L_{Pn-1}) + (C_{Mn} * L_{Pn})}{L_T}\right]$$

[166] Unidad de Perforación y Mantenimiento de Pozo, Barrenas e Hidráulica de Perforación, PEMEX, México, 2000; pág. 44
[167] COLUMBA, Julio César, Determinación del trépano adecuado para la perforación en el sub-andino sur aplicado a las formaciones del devónico, U.A.G.R.M., Bolivia, 2003; pág. 87

Donde:

$C_{MP} = Costo\ por\ metro\ promedio\ de\ la\ fase\ [\$us/m]$
$C_{Mi} = Costo\ por\ metro\ del\ primer\ trépano\ utilizado\ [\$us/m]$
$L_{Pi} = Longitud\ perforada\ por\ el\ primer\ trépano\ [m]$
$C_{Mi+1} = Costo\ por\ metro\ del\ segundo\ trépano\ utilizado\ [\$us/m]$
$L_{Pi} = Longitud\ perforada\ por\ el\ segundo\ trépano\ [m]$
$C_{Mn-1} = Costo\ por\ metro\ del\ penúltimo\ trépano\ utilizado\ [\$us/m]$
$L_{Pn-1} = Longitud\ perforada\ por\ el\ penúltimo\ trépano\ [m]$
$C_{Mn} = Costo\ por\ metro\ del\ último\ trépano\ utilizado\ [\$us/m]$
$L_{Pn} = Longitud\ perforada\ por\ el\ último\ trépano\ [m]$
$L_T = Longitud\ total\ de\ la\ fase\ [m]$

### c) Costo Total.

Se determinan los costos por metro promedio para determinar el costo total de la fase perforada:

**ECUACION II. V**

**COSTO TOTAL DE LA FASE**

$$C_{Total} = C_{MP} * L_T$$

Donde:

$C_{Total} = Costo\ total\ de\ la\ fase\ [\$us]$
$C_{MP} = Costo\ por\ metro\ promedio\ [\$us/m]$
$L_T = Longitud\ total\ perforada\ [m]$

### d) Break-even point.

El Break-even point viene dado por[168]:

[168] Gerencia de Entrenamiento y Desarrollo & Gerencia Regional de Servicios Técnicos, Introducción a Brocas PDC, Smith Internacional, 2003; pág. 236

**ECUACION II. VI**

**BREAK-EVEN POINT**

$$T_P = \left[\left(\frac{C_{MP}}{C_{Eq}}\right) * L_P\right] - T_{VT} - \left(\frac{C_T}{C_{Eq}}\right)$$

Donde:

$C_{MP} = Costo\ por\ metro\ promedio\ de\ la\ fase\ [\$us/m]$

$C_T = Costo\ del\ trépano\ propuesto\ [\$us]$

$C_{Eq} = Costo\ de\ operación\ del\ equipo\ de\ perforación\ [\$us/hr]$

$T_P = Tiempo\ de\ perforación\ [hrs]$

$T_{VT} = Tiempo\ de\ viaje\ total\ para\ toda\ la\ fase\ [hrs]$

$L_P = Avance\ o\ Longitud\ perforada\ [m]$

### e) Tasa de penetración (ROP).

La tasa de penetración se establece como[169]:

**ECUACION II. VII**

**TASA DE PENETRACION (ROP)**

$$ROP = \frac{L_P}{T_P}$$

Donde:

$ROP = Tasa\ de\ penetración\ [m/hr]$

$L_P = Avance\ o\ Longitud\ perforada\ [m]$

$T_P = Tiempo\ de\ perforación\ [hrs]$

[169] Gerencia de Entrenamiento y Desarrollo & Gerencia Regional de Servicios Técnicos, Introducción a Brocas PDC, Smith Internacional, 2003; pág. 237

#### 2.11.2.2. Procedimiento del análisis del Break-even point.

El Break-even point se define en el área de proyectos como el punto de equilibrio, este es aquel donde las ventas serán igual a las inversiones, vale decir no habrá ni perdida pero tampoco ganancia, siendo esta una herramienta de análisis económico muy poderosa y gráfica, la cual nos determina desde una intersección de rectas un punto, proporcionando la pauta donde nuestros costos serán o no serán rentables con el tiempo, valga la redundancia.

Para este análisis de “perforación de pozos” en específico nos permite determinar el tiempo de perforación de acuerdo a un avance en términos de profundidad, analizando además variables como costos de trépanos, el costo estimado óptimo teórico por metro perforado, y con una contraparte (curva de avance real) durante la perforación si este fue o no rentable en términos de costos operativos como se demostrará en el contenido de este proyecto más adelante.

A continuación se presenta el procedimiento para la obtención del gráfico del Break-even point.

**a)** Se establecen los avances (longitud perforada) y tiempos de perforación acumulados (dependientes de las longitudes perforadas y tiempos de perforación por carrera) para todos los trépanos utilizados en la fase a optimizar.

**b)** Calcular los tiempos de viaje para cada trépano según la ecuación N° II. III.

**c)** Calcular el tiempo total para cada trépano según la ecuación N° II. II.

**d)** Calcular los costos métricos de cada trépano utilizado según la ecuación N° II. I (en caso de repetirse un trépano en diferentes intervalos, se tomará en cuenta el costo métrico promedio de dicho trépano calculado según la ecuación N° II. IV).

**e)** Calcular los costos totales de cada trépano según la ecuación N° II. V.

**f)** Calcular el costo métrico promedio de la fase a optimizar aplicando la ecuación N° II. IV.

**g)** Formular la ecuación del Break-even point para cada trépano propuesto según la ecuación N° II. VI.

**h)** Tabular los valores calculados.

**i)** Se procede a graficar ambas curvas. Su intersección nos proporcionará el Break-even point.

**j)** Con los valores obtenidos de la intersección (Avance o longitud perforada y tiempo de perforación) se procede a optimizar la fase.

# CAPITULO III

# CAPITULO III

# DIAGNOSTICO

## 3.1. CARACTERISTICAS GENERALES DEL SUB-ANDINO SUR

La región del Sub andino Sur y Pie de Monte de la Cuenca de Tarija, en Bolivia, es una provincia gasífera que abarca un área cercana a los 100.000 $km^2$. Sus reservas recuperables finales probadas más probables (EUR P1 + P2) de petróleo y gas al año 2005, según Yacimientos Petrolíferos Fiscales Bolivianos, ascienden a 956 x $10^6$ BP y 52 x $10^{12}$ cfg (CBH, 2008). El sector analizado comprende, desde el punto de vista geológico, la Faja Corrida Externa y el Pie de Monte ubicado entre el Codo de Santa Cruz al Norte y la región del límite político Bolivia – Argentina hacia el Sur (Figura N° III. I). Se excluye de este análisis la zona de la cuenca denominada Boomerang, situada al Norte del Codo de Santa Cruz[170].

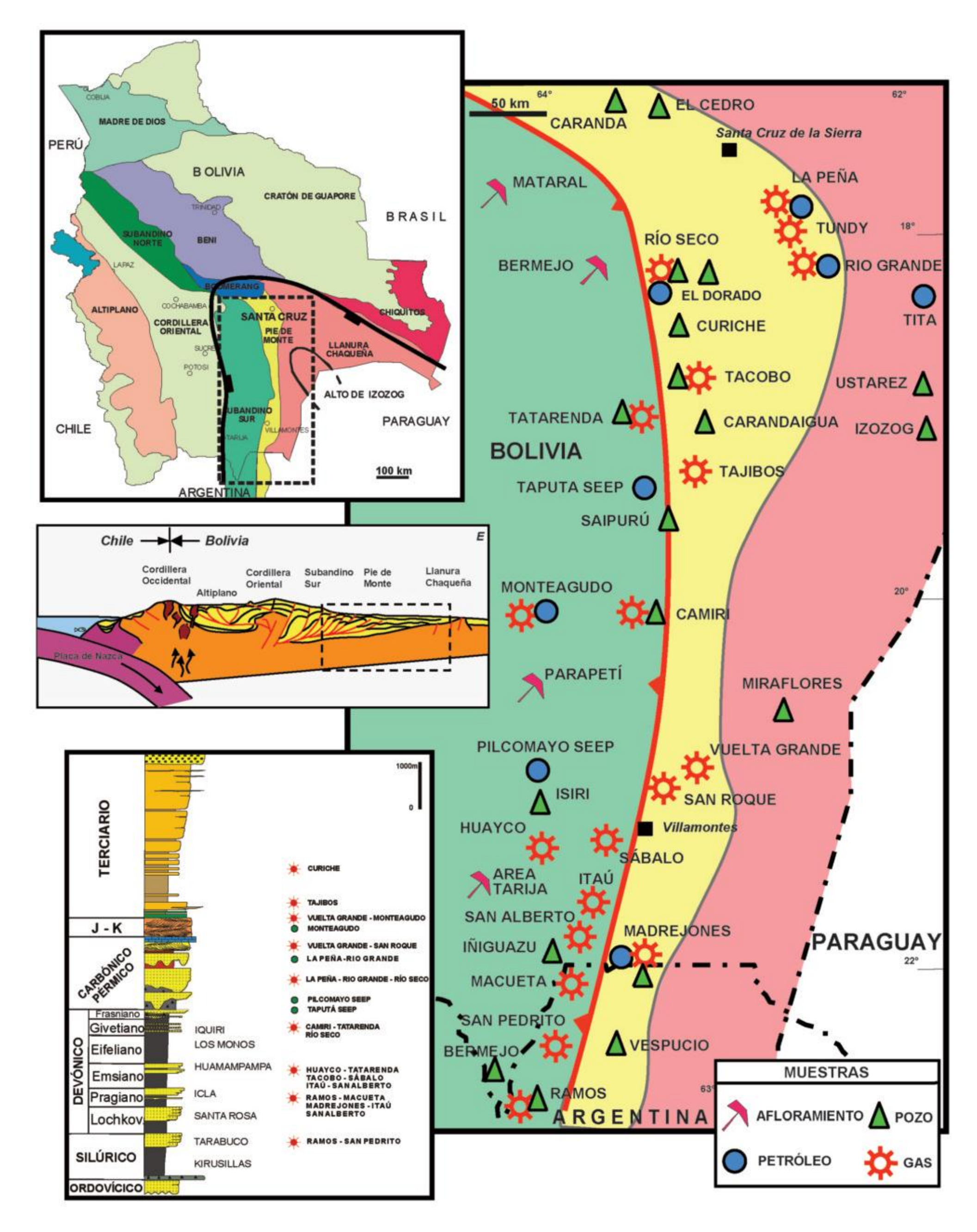
La Cuenca de Tarija presenta espesores mayores a los 10.000 m de rocas sedimentarias, cuyas edades comprenden del Silúrico al Reciente (Figura N° III. I). Se pueden reconocer varios ciclos sedimentarios con jerarquía de conjunto de súper secuencias, que tienen diferentes mecanismos de subsidencia e historias depositacionales. Estos ciclos se superponen en discordancia a rocas de edad Cambro-Ordovícico consideradas hasta el momento basamento económico[171].

A continuación se observa un mapa de ubicación y columna estratigráfica generalizada correspondiente a la cuenca de tarija, entre el codo de santa cruz y el norte de argentina.

[170] CRUZ, Carlos E., Sistemas Petroleros de las Cuencas Andinas, Los sistemas petroleros devónicos del sub andino sur y pie de monte de la Cuenca Tarija. Bolivia, Instituto Argentino del Petróleo y del Gas, Argentina, 2009, Pág. 159
[171] Ídem. Pág. 160

**FIGURA N° III. I**

**MAPA DE UBICACIÓN Y COLUMNA ESTRATIGRÁFICA GENERALIZADA , CUENCA DE TARIJA**




**Fuente:** CRUZ, Carlos E[172].

[172] CRUZ, Carlos E., Sistemas Petroleros de las Cuencas Andinas, Los sistemas petroleros devónicos del sub andino sur y pie de monte de la Cuenca Tarija. Bolivia, Instituto Argentino del Petróleo y del Gas, Argentina, 2009; pág. 159

### 3.1.1. CICLO SILURICO - DEVONICO

Está compuesto por más de 3.000 m de sedimentos clásticos de origen marino, donde alternan facies arenosas y arcillosas. La geología de campo, el análisis paleontológico y la interpretación de información sísmica y de pozos, han permitido que una marcada ciclicidad y la continuidad lateral de ciertos límites litológicos, sean tomadas como base para la división de este ciclo en secuencias y conjuntos de secuencias (Starck, 1995; Albariño et al., 2002). Las facies arcillosas, dominantemente de colores negro y gris oscuro tienen potencial como roca madre de hidrocarburos, siendo hasta el momento comprobadas solamente las que se asignan a la Fm. Los Monos (Disalvo y Villar, 1999, Cruz et al., 2002). Adicionalmente a su capacidad generadora estas facies finas constituyen sellos regionales. Las facies de areniscas cuarcíticas de las formaciones Santa Rosa, Icla, Huamampampa e Iquiri constituyen los reservorios que alojan las mayores reservas de gas de esta cuenca.

### 3.1.2. CICLO CARBONICO - PERMICO

Está separado del ciclo anterior por una marcada discordancia erosiva, destacándose en algunos lugares profundos valles excavados (incised valley). Su espesor excede los 1500 m y están compuestos principalmente por facies clásticas continentales con una importante influencia de eventos glaciales que afectaron al Supercontinente de Gondwana durante el Carbónico (Eyles et al., 1995). Estos sedimentos y sus paleoambientes deposicionales han sido también interpretados dentro de un modelo estratigráfico secuencial (Schulz et al., 1999; Viera y Hernández, 2001). Las facies glaciales y periglaciales están compuestas por una alternancia de areniscas de canales y rellenos de valles (reservorios) y limoarcilitas rojas y diamictitas (sellos). Este ciclo culmina con calizas de edad Permo - Triásica, asignable a la Fm. Vitiacua, depositada en condiciones climáticas más cálidas y con influencia marina.

### 3.1.3. CICLO MESOZOICO

Durante el Jurásico se depositaron cerca de 1.000 m de facies clásticas de origen continental, principalmente de ambiente eólico (Grupo Tacurú). Estas rocas son

reservorio en numerosos campos como Monteagudo, San Roque y Vuelta Grande entre otros. Durante el Cretácico Superior se produjeron eventos transgresivos que alcanzaron el área de Santa Cruz de la Sierra desde el nor-noroeste, que dejaron registros de aproximadamente 300 m de sedimentos clásticos calcáreos.

#### 3.1.4. CICLO TERCIARIO

El levantamiento tectónico de la Cordillera de los Andes, durante el Terciario, generó una antefosa con espesores de rocas clásticas continentales mayores a los 5.000 m. Este relleno exhibe una secuencia típicamente grano y estrato creciente, característica de depósitos sinorogénicos. La porción basal de este ciclo, denominada Fm. Yecua, se considera un sello regional y representa una ingresión marina ocurrida durante el Mioceno.

## 3.2. ANALISIS TECNICO DE LOS POZOS

En esta sección se analizarán las secuencias estratigráficas de los pozos en cuestión para verificar la existencia de similar estratigrafía, así como también se analizarán las características y desgastes sufridos por los trépanos utilizados en la perforación de cada uno de los pozos.

### 3.2.1. Pozo DRD X-1001

A continuación se detalla un análisis técnico de la información recopilada relacionada con el pozo DRD X-1001.

#### 3.2.1.1. Secuencia estratigráfica

En el cuadro N° III.I se pueden observar las formaciones atravesadas durante la perforación del pozo DRD X-1001, con sus respectivos espesores y profundidades de tope y fondo.

**CUADRO N° III. I**

**FORMACIONES ATRAVESADAS DURANTE LA PERFORACIÓN DEL POZO DRD X-1001**

| Tramo (mrmr) | Formación Atravesada | Edad |
|---|---|---|
| 0-1510 | Chaco | Terciario |
| 1510-1620 | Yecua | |
| 1620-1707 | Petaca | |
| 1707-1945 | Cajones | Cretácico |
| 1945-2050 | Yantata | |
| 2050-2320 | Ichoa | Jurásico |
| 2320-2895 | Cangapi | Pérmico |
| 2895-3278 | San Telmo | Carbonífero |
| 3278-3768 | Taiguati-Tarija | |
| 3768-3963 | Tupambi | |
| 3963-4317 | Iquiri | Devónico |
| 4317-5282 | Los Monos | |
| 5282-6740 | Huamapampa Norte | |

**Fuente:** YPFB[173]

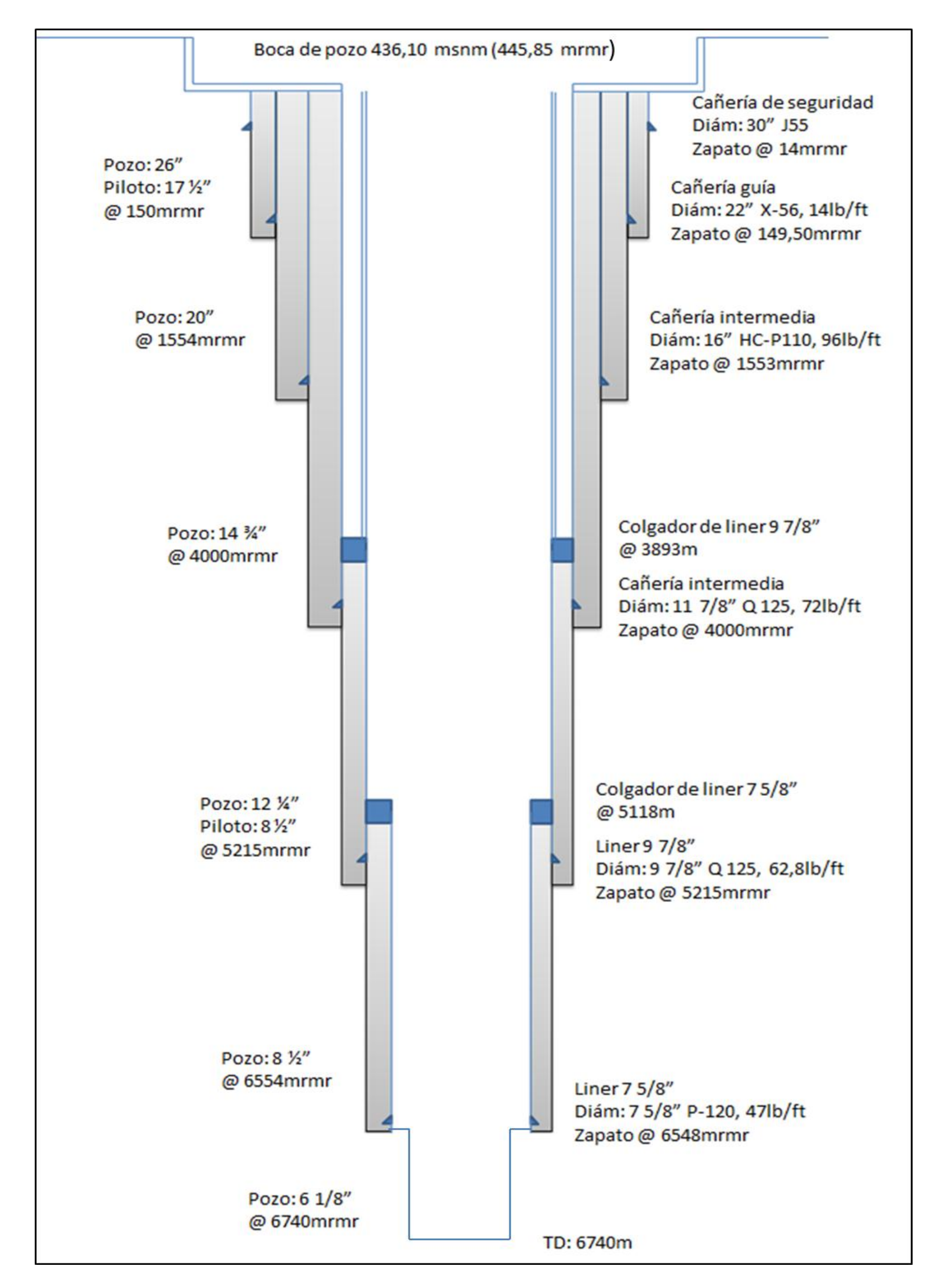
### 3.2.1.2. Perfil del pozo

En la figura N° III. II se puede observar el la geometría de la perforación del pozo DRD X-1001.

[173] YPFB Corporación, CNIH, LAT: 20-1-357, Reporte Final DRD X-1001, Pan American Energy, 1999

**FIGURA N° III. II**

**PERFIL DEL POZO DRD X-1001**




**Fuente:** YPFB[174]

[174] YPFB Corporación, CNIH, LAT: 20-1-357, Reporte Final DRD X-1001, Pan American Energy, 1999

### 3.2.1.3. Análisis de la fase de interés

**CUADRO N° III. II**

**VARIABLES QUE INTERVIENEN EN LA ECUACIÓN DEL BREAK-EVEN POINT**

| N° de trépano | Tipo de trépano | Costo del trépano $ | Costo de operación del Equipo ($/h) | Prof. Entrada (m) | Prof. Salida (m) | Longitud perforada (m) | Tiempo de viaje (h) | Tiempo de perforación (h) | Tiempo total (h) | Costo métrico ($/m) | costo $ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 21 | HTC G447XL | 35000 | 833,33 | 4015 | 4186 | 171 | 16,06 | 90,1 | 106,16 | 722,03 | 123466,31 |
| 21 | HTC G447XL | 35000 | 833,33 | 4186 | 4585 | 399 | 16,744 | 113,1 | 129,844 | 358,90 | 143202,90 |
| 21 | HTC G447XL | 35000 | 833,33 | 4585 | 4911 | 326 | 18,34 | 170,57 | 188,91 | 590,26 | 192424,37 |
| 21 | HTC G447XL | 35000 | 833,33 | 4911 | 5035 | 124 | 19,644 | 43,22 | 62,864 | 704,73 | 87386,46 |
| 21 | HTC G447XL | 35000 | 833,33 | 5035 | 5215 | 180 | 20,14 | 109,1 | 129,24 | 792,78 | 142699,57 |
| 21 | HTC G447XL | 35000 | 833,33 | 5215 | 5218 | 3 | 20,86 | 2,3 | 23,16 | 18099,97 | 54299,92 |
| 21 | HTC G447XL | 35000 | 833,33 | 5218 | 5226 | 8 | 20,872 | 4,3 | 25,172 | 6997,07 | 55976,58 |
| 21 | HTC G447XL | 35000 | 833,33 | 5226 | 5240 | 14 | 20,904 | 10,1 | 31,004 | 4345,47 | 60836,56 |
| 21 | HTC G447XL | 35000 | 833,33 | 5240 | 5400 | 160 | 20,96 | 91,6 | 112,56 | 805,00 | 128799,62 |
| Longitud total perforada del trépano 21 | | | | | | 1385 | Costo métrico promedio del trépano 21 | | | 714,15 | 989092,30 |
| 22 | HTC G447XL | 35000 | 833,33 | 5240 | 6200 | 800 | 21,6 | 127 | 148,6 | 198,54 | 158832,84 |
| 23 | HTC R-7 | 35000 | 833,33 | 6200 | 6202 | 2 | 24,8 | 2,3 | 27,1 | 28791,62 | 57583,24 |
| 24 | HTC BD 536 | 35000 | 833,33 | 6202 | 6554 | 352 | 24,81 | 136,5 | 161,31 | 481,32 | 169424,46 |
| Longitud total de la fase 8 1/2" | | | | | | 2539 | Costo métrico promedio de la fase de 8 1/2" | | | 541,53 | 1374932,85 |

**Fuente:** Elaboración propia en base a datos del pozo DRD X-1001

**CUADRO N° III. III**

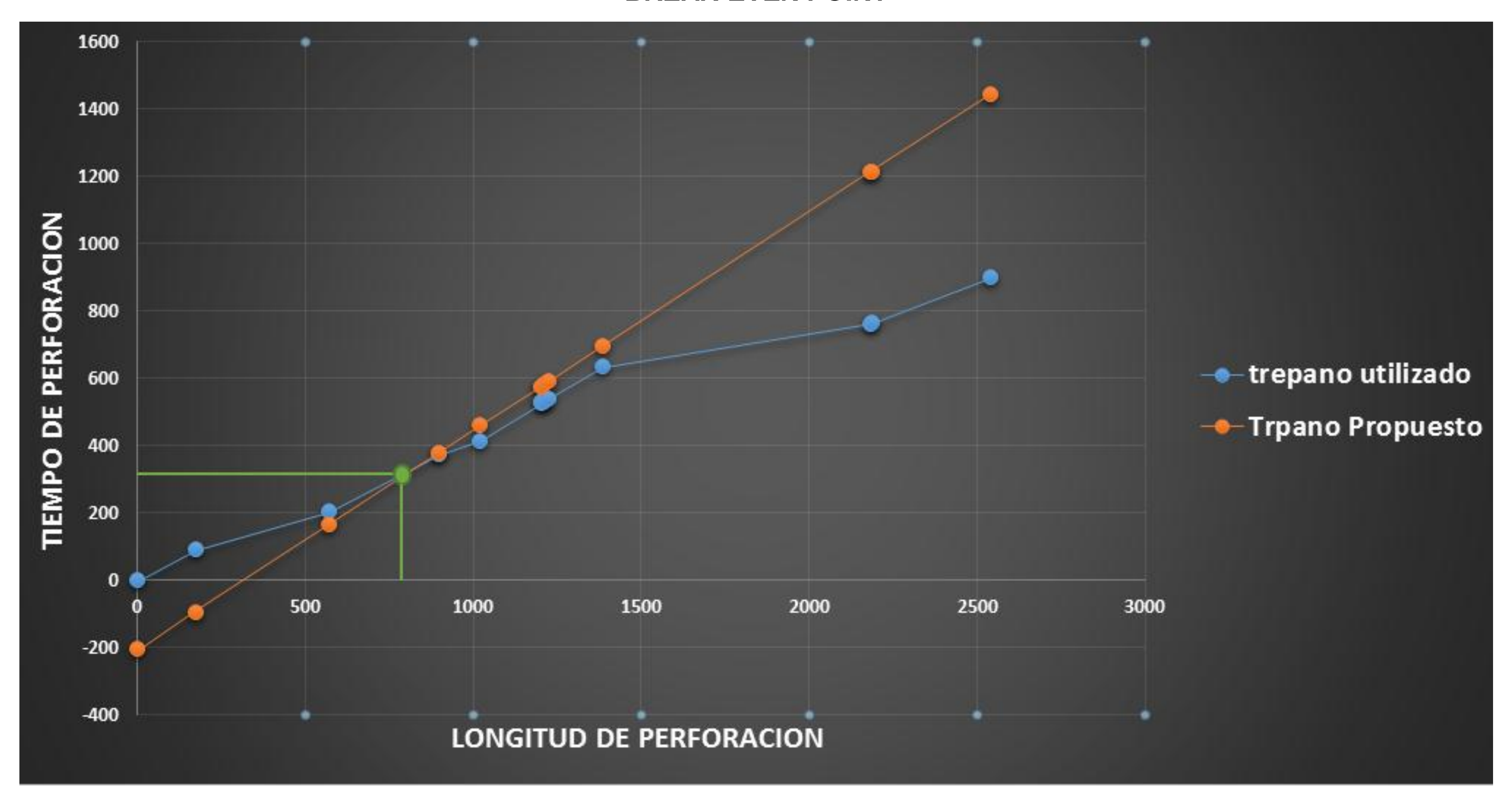
**VALORES DEL BREAK-EVEN POINT**

| Avance (m) | Tiempo de perforación (m) | Avance Acumulado (m) | Tiempo acumulado (h) | Ecuación del Break-even point (h) |
|---|---|---|---|---|
| 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | -203,73 |
| 171,00 | 90,10 | 171,00 | 90,10 | -92,61 |
| 399,00 | 113,10 | 570,00 | 203,20 | 166,67 |
| 326,00 | 170,57 | 896,00 | 373,77 | 378,52 |
| 124,00 | 43,22 | 1020,00 | 416,99 | 459,10 |
| 180,00 | 109,10 | 1200,00 | 526,09 | 576,07 |
| 3,00 | 2,30 | 1203,00 | 528,39 | 578,02 |
| 8,00 | 4,30 | 1211,00 | 532,69 | 583,21 |
| 14,00 | 10,10 | 1225,00 | 542,79 | 592,31 |
| 160,00 | 91,60 | 1385,00 | 634,39 | 696,28 |
| 800,00 | 127,00 | 2185,00 | 761,39 | 1216,15 |
| 2,00 | 2,30 | 2187,00 | 763,69 | 1217,45 |
| 352,00 | 136,50 | 2539,00 | 900,19 | 1446,19 |

**Fuente:** Elaboración propia en base a datos del pozo DRD X-1001

**FIGURA N° III. III**

**BREAK-EVEN POINT**




**Fuente:** Elaboración propia en base a datos del pozo DRD X-1001

### 3.2.1.4. Análisis de trépanos

**CUADRO N° III. IV**

**CARACTERÍSTICAS DE LOS TRÉPANOS UTILIZADOS DURANTE LA PERFORACIÓN DE LA FASE EN ESTUDIO**

| Carrera | Trépano | Diámetro | Tipo de trépano | Código IADC | Serie | Boquillas | Desde | Hasta | Carreras | Perf. Hr. | ROP | PST | Rotaci ón | Q | PB | OBSERVACION |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | N° | (in) | | | N° | 732" | (m) | (m) | | hrs. | m/h | klbs | rpm | gpm | Psi | |
| 22 | 21 | 8 1/2 | HTC G447XL | M 333 | 0400914 | 4X12 | 4015 | 4186 | 171 | 90,10 | 1,89 | 10,00 | 140,00 | 600 | 3200 | Pozo piloto 8 1/2" RWD 12 1/4" 2x11, 1x12 |
| 23 | 21R | 8 1/2 | HTC G447XL | M 333 | 0400914 | 4X12 | 4186 | 4585 | 329 | 113,10 | 3,52 | 15,00 | 160,00 | 520 | 3700 | Chequeo de trépano RWD |
| 24 | 21RR | 8 1/2 | HTC G447XL | M 333 | 0400914 | 4X14 | 4585 | 4911 | 242 | 170,57 | 1,92 | 19,00 | 150,00 | 535 | 3620 | Cambian boquillas T: 4x14-RWD: 2x12, 1x15 |
| 25 | 21RRR | 8 1/2 | HTC G447XL | M 333 | 0400915 | 4X12 | 4911 | 5035 | 99 | 43,22 | 2,86 | 20,00 | 160,00 | 540 | 3700 | Cambian boquillas T: 4x12-RWD2: 2x12, 1x15 |
| 26 | 21RRRR | 8 1/2 | HTC G447XL | M 333 | 0400915 | 4X13 | 5035 | 5215 | 117 | 109,10 | 1,65 | 20,00 | 145,00 | 535 | 3600 | Profundidad final de sección |
| 28 | 21RRRRR | 8 1/2 | HTC G447XL | M 333 | 0400915 | 3X16, 14 | 5215 | 5218 | 38 | 2,30 | 1,30 | 7,00 | 120,00 | 460 | 3140 | Perfilaje de liner |
| 29 | 21 6R | 8 1/2 | HTC G447XL | M 333 | 0400915 | 3X16, 14 | 5218 | 5226 | 62 | 4,30 | 1,80 | 24,00 | 90,00 | 380 | 2800 | Pesca trépano, NB y DC |
| 30 | 21 7R | 8 1/2 | HTC G447XL | M 333 | 0400915 | 3X16, 14 | 5226 | 5240 | 14 | 10,10 | 1,40 | 18,00 | 120,00 | 380 | 2700 | Cambio BHA |
| 31 | 21 8R | 8 1/2 | HTC G447XL | M 333 | 0400915 | 3X16, 1X14 | 5240 | 5400 | 160 | 91,60 | 1,70 | 20,00 | 130,00 | 380 | 2800 | Perfilaje |
| 32 | 22 | 8 1/2 | HTC G447XL | 545 | 1900572 | 4X13 | 5400 | 6200 | 800 | 127,00 | 6,30 | 15,00 | 160,00 | 365 | 3300 | Perfilaje |
| 33 | 23 | 8 1/2 | HTC R-7 | 114 | V41CD | 3X22 | 6200 | 6202 | 2 | 2,30 | 1,30 | 14,00 | 90,00 | 334 | 3300 | Rota tapón mecánico |
| 34 | 24 | 8 1/2 | HTC BD 536 | 545 | 401735 | 6X16 | 6202 | 6554 | 352 | 136,50 | 2,50 | 20,00 | 170,00 | 360 | 3700 | Profundidad final de sección |

**Fuente:** Elaboración propia en base a datos del pozo DRD X-1001

### 3.2.1.5. Desgaste de Trépanos

**CUADRO N° III. V**

**DESGASTE DE LOS TREPAOS UTILIZADOS EN LA FASE DE ESTUDIO**

| Carrera | Trépano | Diámetro | Tipo de trépano | Código IADC | Serie | Desgaste | | | | | | | | OBSERVACION |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | N° | (in) | | | N° | I | O | D | L | B | G | O | R | |
| 22 | 21 | 8 1/2 | HTC G447XL | M 333 | 0400914 | 0 | 0 | NO | A | X | I | NO | O | Pozo piloto 8 1/2" RWD 12 1/4" 2x11, 1x12 |
| 23 | 21R | 8 1/2 | HTC G447XL | M 333 | 0400914 | 1 | 0 | LT | N | 0 | I | NO | H R | Chequeo de trépano RWD |
| 24 | 21RR | 8 1/2 | HTC G447XL | M 333 | 0400914 | - | - | - | - | - | - | - | - | Cambian boquillas T: 4x14-RWD: 2x12, 1x15 |
| 25 | 21RRR | 8 1/2 | HTC G447XL | M 333 | 0400915 | 1 | 1 | BT | H | 0 | I | BT | L O G | Cambian boquillas T: 4x12-RWD2: 2x12, 1x15 |
| 26 | 21RRRR | 8 1/2 | HTC G447XL | M 333 | 0400915 | 2 | 2 | LT | N | D | I | BT | L O G | Profundidad final de sección |
| 27 | 20R | 10 5/8 | MX-1 | 117 | C 9374 | 1 | 1 | NO | A | 1 | I | NO | TD | Ensancha |
| 28 | 21RRRRR | 8 1/2 | HTC G447XL | M 333 | 0400915 | 2 | 2 | LT | N | D | I | BT | L O G | Perfilaje de liner |
| 29 | 21 6R | 8 1/2 | HTC G447XL | M 333 | 0400915 | 2 | 2 | LT | N | D | I | BT | B H A | Pesca trépano, NB y DC |
| 30 | 21 7R | 8 1/2 | HTC G447XL | M 333 | 0400915 | 2 | 2 | LT | N | D | I | BT | B H A | Cambio BHA |
| 31 | 21 8R | 8 1/2 | HTC G447XL | M 333 | 0400915 | 2 | 2 | LT | N | D | I | BT | L O G | Perfilaje |
| 32 | 22 | 8 1/2 | HTC G447XL | 545 | 1900572 | 1 | 1 | WT | C | D | I | NO | L O G | Perfilaje |
| 33 | 23 | 8 1/2 | HTC R-7 | 114 | V41CD | 6 | 5 | BT | A | 3 | I | JD | BC | Rota tapón mecánico |
| 34 | 24 | 8 1/2 | HTC BD 536 | 545 | 401735 | - | - | - | - | - | - | - | - | Profundidad final de sección |

**Fuente:** Elaboración propia en base a datos del pozo DRD X-1001 (referencia de codificacion sección 2.8 CODIGOS IADC, págs. 61 a la 66)

### 3.2.2. POZO DRD X-1004

A continuación se detalla un análisis técnico de la información recopilada relacionada con el pozo DRD X-1004.

#### 3.2.2.1. Secuencia estratigráfica.

En el cuadro N° III. VI se pueden observar las formaciones atravesadas durante la perforación del pozo DRD X-1004, con sus respectivos espesores y profundidades de tope y fondo.

**CUADRO N° III. VI**

**FORMACIONES ATRAVESADAS DURANTE LA PERFORACIÓN DEL POZO DRD X-1004**

| Edad | Formación | Topes | | TVDSS (m) | Espesor (m) |
|---|---|---|---|---|---|
| | | MD (m) | TVD (m) | | |
| Terciario | Chaco | Superficie | | | 1624,40 |
| | Yecua | 1624,40 | 1623,91 | -1175,71 | 14,10 |
| | Petaca | 1638,50 | 1638,01 | -1189,87 | 56,44 |
| Cretácico | Cajones | 1694,95 | 1694,45 | -1246,25 | 300,77 |
| | Yantata | 1995,79 | 1995,22 | -1547,02 | 113,98 |
| | Ichoa | 2109,79 | 2109,20 | -1661,00 | 255,06 |
| Pérmico | Cangapi | 2362,98 | 2362,26 | -1914,06 | 427,39 |
| | San Telmo | 2791,23 | 2789,65 | -2391,45 | 87,04 |
| Carbonífero | Escarpment | 2878,64 | 2876,69 | -2428,49 | 207,97 |
| | Tarija | 3087,42 | 3084,66 | -2636,46 | 613,97 |
| | Tupambi | 3703,37 | 3698,63 | -3250,43 | 132,27 |
| Devónico | Iquiri | 3836,45 | 3830,90 | -3282,70 | 393,10 |
| | Ar. Guanacos B/A | 4106,50 | 4098,49 | -3650,29 | 38,06 |
| | Ar. Guanacos B/B | 4158,95 | 4150,35 | -3702,15 | 39,69 |
| Profundidad Final | | 4233,00 | 4224,00 | -3775,80 | |

**Fuente:** YPFB[175]

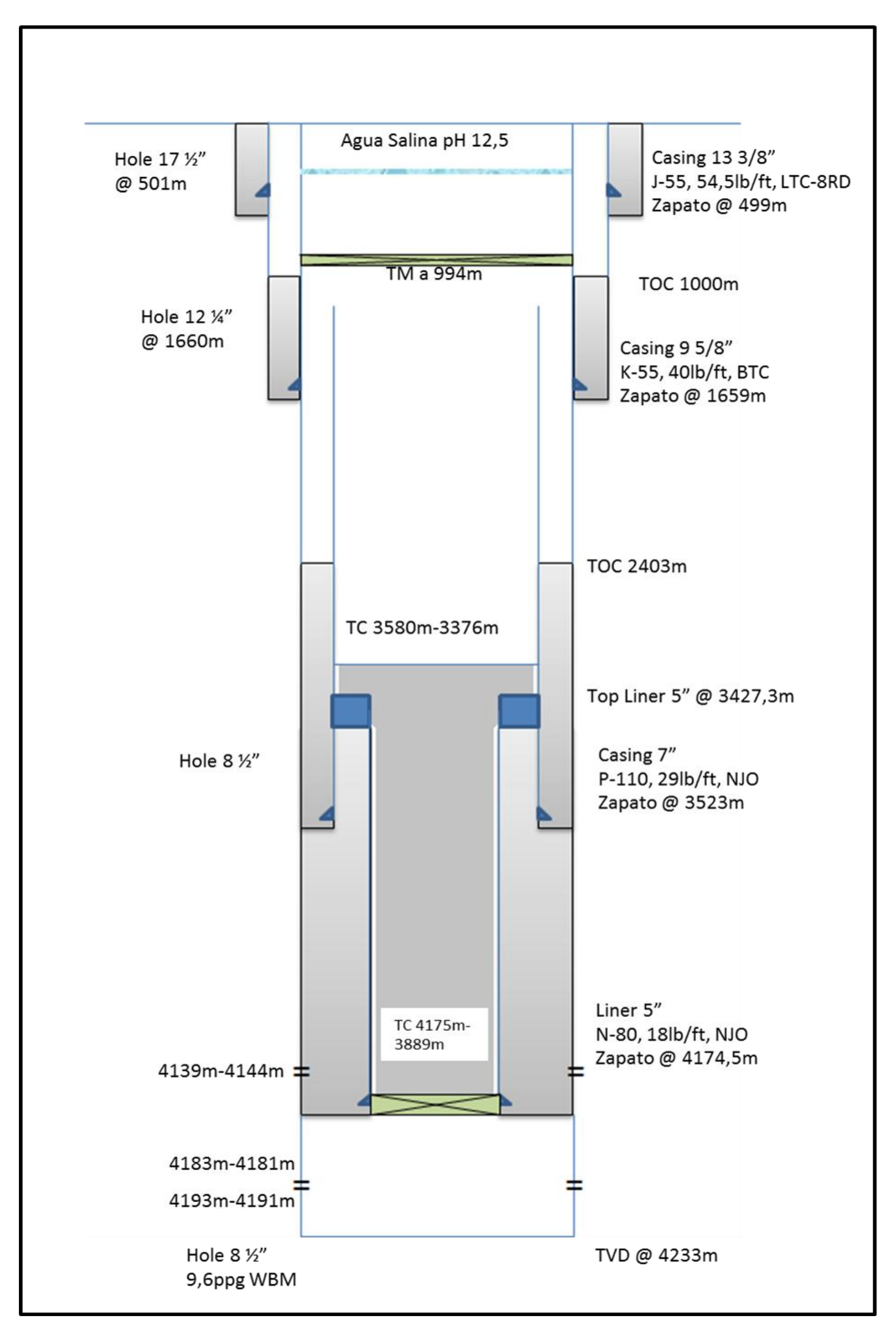
[175] YPFB Corporación, CNIH, LAT: 43-6-052, Informe final de perforación y Terminación DRD X-1004, Chaco S.A., 2005

### 3.2.2.2. Perfil del pozo.

En la figura N° III. IV se puede observar la geometría de la perforación del pozo DRD X-1004.

**FIGURA N° III. IV**

**PERFIL DEL POZO DRD X-1004**




**Fuente:** YPFB[176]

[176] YPFB Corporación, CNIH, LAT: 43-6-052, Informe final de perforación y Terminación DRD X-1004, Chaco S.A., 2005

### 3.2.2.3. Análisis de la fase de interés.

**CUADRO N° III. VII**

**VARIABLES QUE INTERVIENEN EN LA ECUACIÓN DEL BREAK-EVEN POINT**

| N° de trépano | Tipo de trépano | Costo del trépano $ | Costo de operación del Equipo ($/h) | Prof. Entrada (m) | Prof. Salida (m) | Longitud perforada (m) | Tiempo de viaje (h) | Tiempo de perforación (h) | Tiempo total (h) | Costo métrico ($/m) | costo $ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 3 | HCM 606 | 29000 | 833,33 | 1660 | 2645 | 985 | 6,64 | 43,8 | 50,44 | 72,11 | 71033,17 |
| 4 | HCM 406 | 29000 | 833,33 | 2645 | 2885 | 240 | 10,58 | 32,5 | 43,08 | 270,42 | 64899,86 |
| 5 | HCM 406 | 29000 | 833,33 | 2885 | 3274 | 389 | 11,54 | 65,2 | 76,74 | 238,95 | 92949,74 |
| 6 | MX-S20DX | 29000 | 833,33 | 3274 | 3460 | 186 | 13,096 | 23,6 | 36,696 | 320,32 | 59579,88 |
| 7 | MX-S20DX | 29000 | 833,33 | 3460 | 3714 | 254 | 13,84 | 47,3 | 61,14 | 314,76 | 79949,80 |
| 8 | MX-S20DX | 29000 | 833,33 | 3714 | 3833 | 119 | 14,856 | 45,6 | 60,456 | 667,06 | 79379,80 |
| 9 | MX-S20DX | 29000 | 833,33 | 3833 | 3908 | 75 | 15,332 | 28 | 43,332 | 868,13 | 65109,86 |
| 10 | HC 406 | 29000 | 833,33 | 3908 | 4170 | 262 | 15,632 | 53,4 | 69,032 | 330,25 | 86526,44 |
| 11 | HC 406 | 29000 | 833,33 | 4170 | 4210 | 40 | 16,68 | 19,4 | 36,08 | 1476,66 | 59066,55 |
| 12 | HC 406 | 29000 | 833,33 | 4210 | 4223 | 13 | 16,84 | 6,2 | 23,04 | 3707,69 | 48199,92 |
| Longitud total de la fase 8 1/2" | | | | | | 2563 | Costo métrico promedio de la fase de 8 1/2" | | | 275,73 | 706695,00 |

**Fuente:** Elaboración propia en base a datos del pozo DRD X-1004

**CUADRO N° III. VIII**

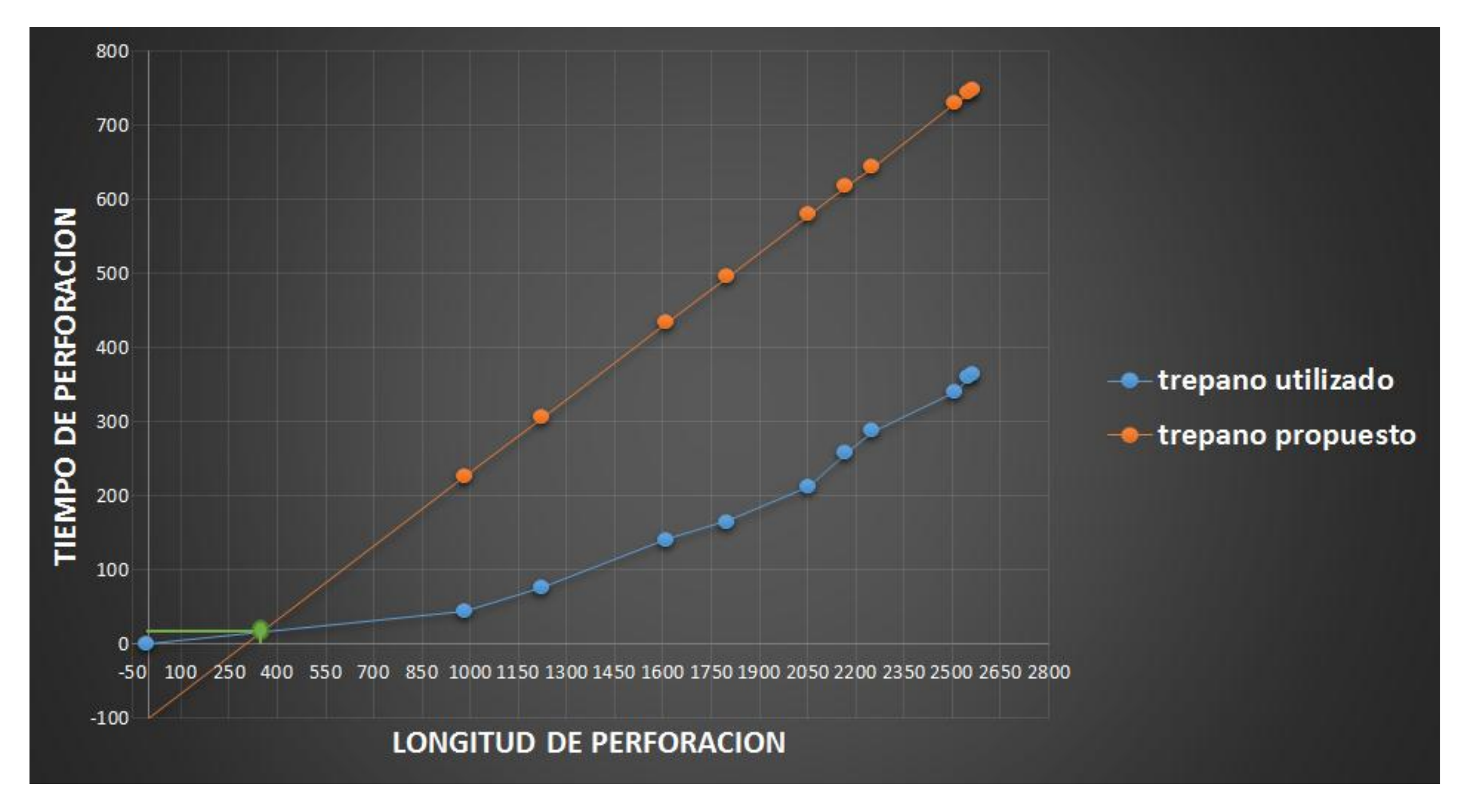
**VALORES DEL BREAK-EVEN POINT**

| Avance (m) | Tiempo de perforación (m) | Avance Acumulado (m) | Tiempo acumulado (h) | Ecuación del Break-even point (h) |
|---|---|---|---|---|
| 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | -100,24 |
| 985,00 | 43,80 | 985,00 | 43,80 | 225,68 |
| 240,00 | 32,50 | 1225,00 | 76,30 | 305,09 |
| 389,00 | 65,20 | 1614,00 | 141,50 | 433,80 |
| 186,00 | 23,60 | 1800,00 | 165,10 | 495,34 |
| 254,00 | 47,30 | 2054,00 | 212,40 | 579,39 |
| 119,00 | 45,60 | 2173,00 | 258,00 | 618,76 |
| 75,00 | 28,00 | 2248,00 | 286,00 | 643,58 |
| 262,00 | 53,40 | 2510,00 | 339,40 | 730,27 |
| 40,00 | 19,40 | 2550,00 | 358,80 | 743,50 |
| 13,00 | 6,20 | 2563,00 | 365,00 | 747,80 |

**Fuente:** Elaboración propia en base a datos del pozo DRD X-1004

**FIGURA N° III. V**

**BREAK-EVEN POINT**




**Fuente:** Elaboración propia en base a datos del pozo DRD X-1004

### 3.2.2.4. Análisis de Trépanos.

**CUADRO N° III. IX**

**CARACTERÍSTICAS DE LOS TRÉPANOS UTILIZADOS DURANTE LA PERFORACIÓN DE LA FASE EN ESTUDIO**

| BIT | SIZE | MFG | TIPO | NOZZLES | SERIAL | DEPTH | DIST | DRILL G | ROP | ACC | WOB | RPM | MTR | RT | PUMP | FLOW | VERT | MW |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| N° | (in) | | | | N° | OUT | DRILL | TIME | m/h | TIME | Klb | | (rpm) | | PRESS | RATE | DESV | ppg |
| 3 | 8 1/2 | HTC | HCM 606 | 6 x 11 | 7001763 | 2645 | 982 | 43,8 | 22,4 | 88,4 | 2 - 10 | 60 - 120 | 61 | OT | 2600 | 460 | 2,0 | 8,9 |
| 4 | 8 1/2 | HTC | HCM 406 | 6 x 11 | 7001636 | 2885 | 243 | 32,5 | 7,5 | 121,0 | 3 - 9 | 30 - 50 | 122 | SS | 1900 | 420 | 4,0 | 8,9 |
| 5 | 8 1/2 | HTC | HCM 406 | 6 x 11 | 7001636 | 3274 | 389 | 65,2 | 6,0 | 186,0 | 10 - 15 | 60 - 70 | 121 | OT | 2600 | 450 | 4,3 | 9,2 |
| 6 | 8 1/2 | HTC | MX-S20DX | 3 x 13 | 6001952 | 3460 | 186 | 23,6 | 7,9 | 210,0 | 15 - 25 | 45 - 60 | 58 | OT | 2900 | 460 | 3,0 | 9,2 |
| 7 | 8 1/2 | HTC | MX-S20DX | 3 x 14 | 6025392 | 3714 | 254 | 47,3 | 5,4 | 257,0 | 25 - 35 | 45 -55 | 58 | OT | 2750 | 460 | 6,0 | 9,2 |
| 8 | 8 1/2 | HTC | MX-S20DX | 3 x 14 | 6028285 | 3833 | 119 | 45,6 | 2,6 | 303,0 | 30 - 38 | 45 - 50 | 58 | OT | 2950 | 960 | 5,0 | 9,4 |
| 9 | 8 1/2 | HTC | MX-S20DX | 3 x 15 | 6023780 | 3908 | 75 | 28,0 | 2,7 | 331,0 | 35 - 40 | 40 - 70 | 55 | OT | 2810 | 450 | 5,0 | 9,6 |
| 10 | 8 1/2 | HTC | HC 406 | 6 x 12 | 7300894 | 4170 | 262 | 53,4 | 4,9 | 384,0 | 2 - 4 | 50 - 50 | 110 | OT | 2400 | 5 | 9,6 | 9,6 |
| 11 | 8 1/2 | HTC | HC 406 | 6 x 13 | 7300894 | 4210 | 40 | 19,4 | 2,1 | 403,0 | 2 - 5 | 80 - 90 | | | 1800 | 420 | 5,0 | 9,6 |
| 12 | 8 1/2 | HTC | HC 406 | 6 x 13 | 7300894 | 4233 | 23 | 6,2 | 3,7 | 410,0 | 3 - 5 | 80 - 80 | | | 1700 | 9,6 | 5,0 | 9,6 |

**Fuente:** Elaboración propia en base a datos del pozo DRD X-1004

### 3.2.2.5. Desgaste de Trépanos.

**CUADRO N° III. X**

**DESGASTE DE LOS TRÉPANOS UTILIZADOS EN LA FASE DE ESTUDIO**

| BIT N° | SIZE (in) | MFG | TIPO | NOZZLES | SERIAL N° | API CONDICION I | O | D | L | B | G | O | R |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 3 | 8 1/2 | HTC | HCM 606 | 6X11 | 7001763 | 2 | 3 | BT | NS | X | I | LT | PP |
| 4 | 8 1/2 | HTC | HCM 406 | 6X11 | 7001636 | 0 | 0 | NO | A | X | I | ER | BHA |
| 5 | 8 1/2 | HTC | HCM 406 | 6X11 | 7001636 | 6 | 8 | RO | NS | X | 3 | BT | TQ |
| 6 | 8 1/2 | HTC | MX-S20DX | 3X13 | 6001952 | 3 | 3 | WT | A | E | I | RG | TQ |
| 7 | 8 1/2 | HTC | MX-S20DX | 3X14 | 6025392 | 5 | 7 | WT | A | E | I | RG | HR |
| 8 | 8 1/2 | HTC | MX-S20DX | 3X14 | 6028285 | 5 | 4 | OC | M | E | I | SS | PR |
| 9 | 8 1/2 | HTC | MX-S20DX | 3X15 | 6023780 | 3 | 3 | OC | M | E | I | WT | PR |
| 10 | 8 1/2 | HTC | HC 406 | 6X12 | 7300894 | 1 | 1 | CT | N | X | I | ER | LOG |
| 11 | 8 1/2 | HTC | HC 406 | 6X13 | 7300894 | 1 | 1 | CT | N | X | I | ER | LOG |
| 12 | 8 1/2 | HTC | HC 406 | 6X13 | 7300894 | 1 | 1 | CT | CN | X | I | ER | TD |

**Fuente:** Elaboración propia en base a datos del pozo DRD X-1004 (referencia de codificacion sección 2.8 CODIGOS IADC, págs. 61 a la 66)

## 3.2.3. POZO DRD-1005

### 3.2.3.1. Secuencia estratigráfica

**CUADRO N° III. XI**

**FORMACIONES ATRAVESADAS DURANTE LA PERFORACIÓN DEL POZO DRD-1005**

| Edad | Formación | Reservorio | Topes MD (m) | TVD (m) | TVDSS (m) | Espesor (m) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Terciario | Tariquía | | Superficie | 1597,8 | | |
| | Yecua | | 1543 | 1543 | -1081 | 11 |
| | Petaca | | 1554 | 1554 | -1091 | 39 |
| Cretácico | Cajones | | 1593 | 1593 | -1130 | 298 |
| | Yantata | | 1891 | 1891 | -1429 | 126 |
| | Ichoa | | 2017 | 2017 | -1554 | 336 |
| Carbonífero | Cangapi | | 2353 | 2353 | -1891 | 186 |
| | San Telmo | | 2539 | 2539 | -2076 | 60 |
| | Esarpment | | 2599 | 2599 | -2136 | 152 |
| | Falla El Dorado | | 2751 | 2751 | -2289 | 39 |
| | Tarija | | 2790 | 2790 | -2327 | 994 |
| | Tupambi | | 3784 | 3784 | -3326 | 164 |
| Devónico | Iquiri | | 3948 | 3948 | -3485 | 202 |
| | | Ar. Guanacos | 4150 | 4150 | -3688 | 45 |
| | | Base Ar. Guanacos | 4195 | 4195 | -3733 | 55 |
| Profundidad Final | | | 4250 | 4250 | -3787 | |

**Fuente:** YPFB[177]

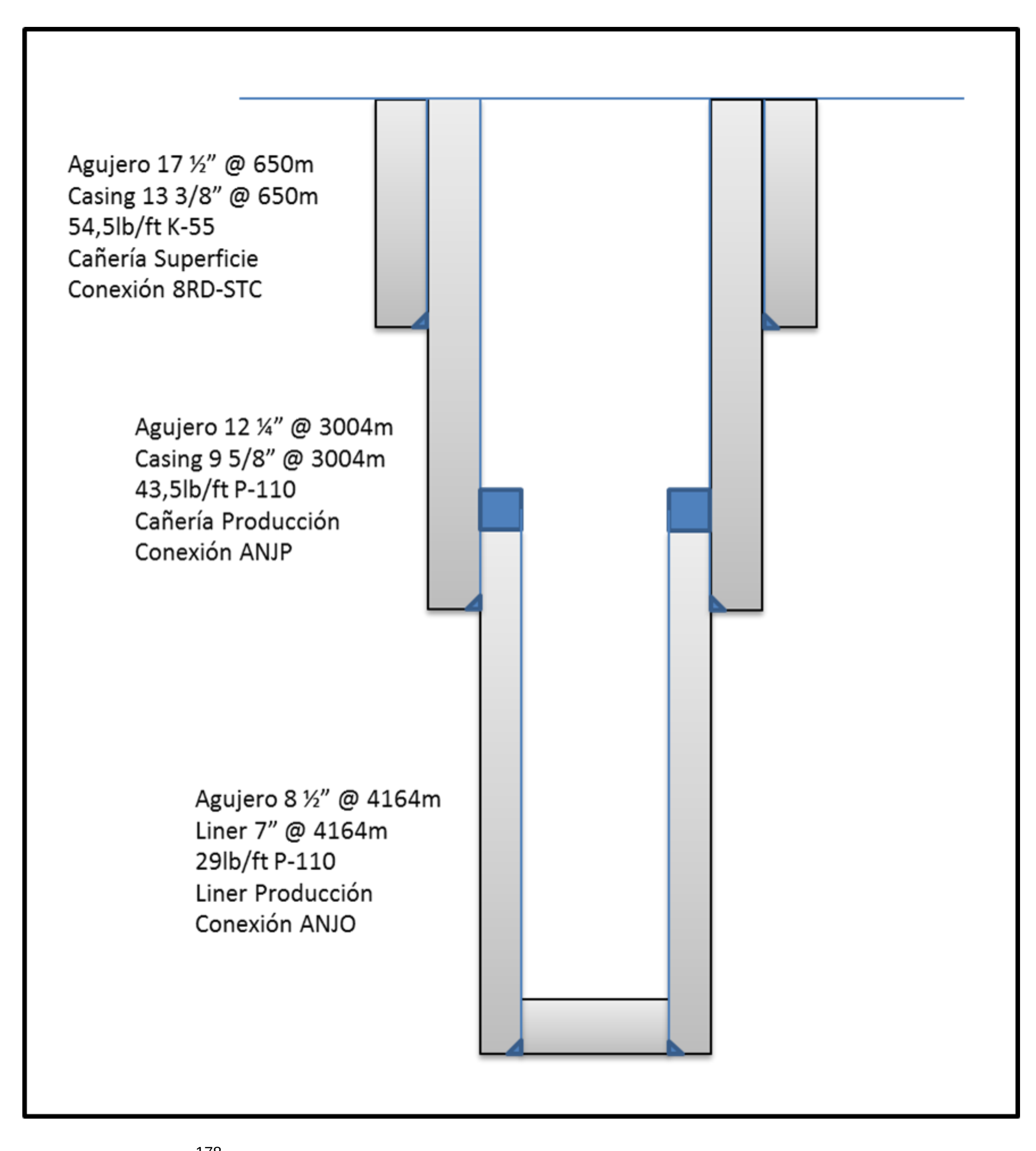
[177] YPFB Corporación, CNIH, LAT: 36-6-469, Informe Geológico Final DRD-1005, Empresa Petrolera Chaco, 2010

### 3.2.3.2. Perfil del pozo

En la figura N° III. VI se puede observar la geometría de la perforación del pozo DRD-1005.

**FIGURA N° III. VI**

**PERFIL DEL POZO DRD-1005**




**Fuente:** YPFB[178]

[178] YPFB Corporación, CNIH, LAT: 36-6-469, Informe Geológico Final DRD-1005, Empresa Petrolera Chaco, 2010

### 3.2.3.3. Análisis de la fase de interés

**CUADRO N° III. XII**

**VALORES DEL BREAK-EVEN POINT**

| N° de trépano | Tipo de trépano | Costo del trépano $ | Costo de operación del Equipo ($/h) | Prof. Entrada (m) | Prof. Salida (m) | Longitud perforada (m) | Tiempo de viaje (h) | Tiempo de perforación (h) | Tiempo total (h) | Costo métrico ($/m) | costo $ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 3 | HCM 606 | 29000 | 833,33 | 3006 | 3381 | 375 | 12,024 | 43,8 | 55,824 | 201,39 | 75519,81 |
| 4 | HCM 406 | 29000 | 833,33 | 3381 | 3951 | 570 | 13,524 | 32,5 | 46,024 | 118,16 | 67353,18 |
| 5 | HCM 406 | 29000 | 833,33 | 3951 | 4164 | 213 | 15,804 | 65,2 | 81,004 | 453,07 | 96503,06 |
| Longitud total de la fase 8 1/2" | | | | | | 1158 | Costo métrico promedio de la fase de 8 1/2" | | | 206,72 | 239376,06 |

**Fuente:** Elaboración propia en base a datos del pozo DRD-1005

**CUADRO N° III. XIII**

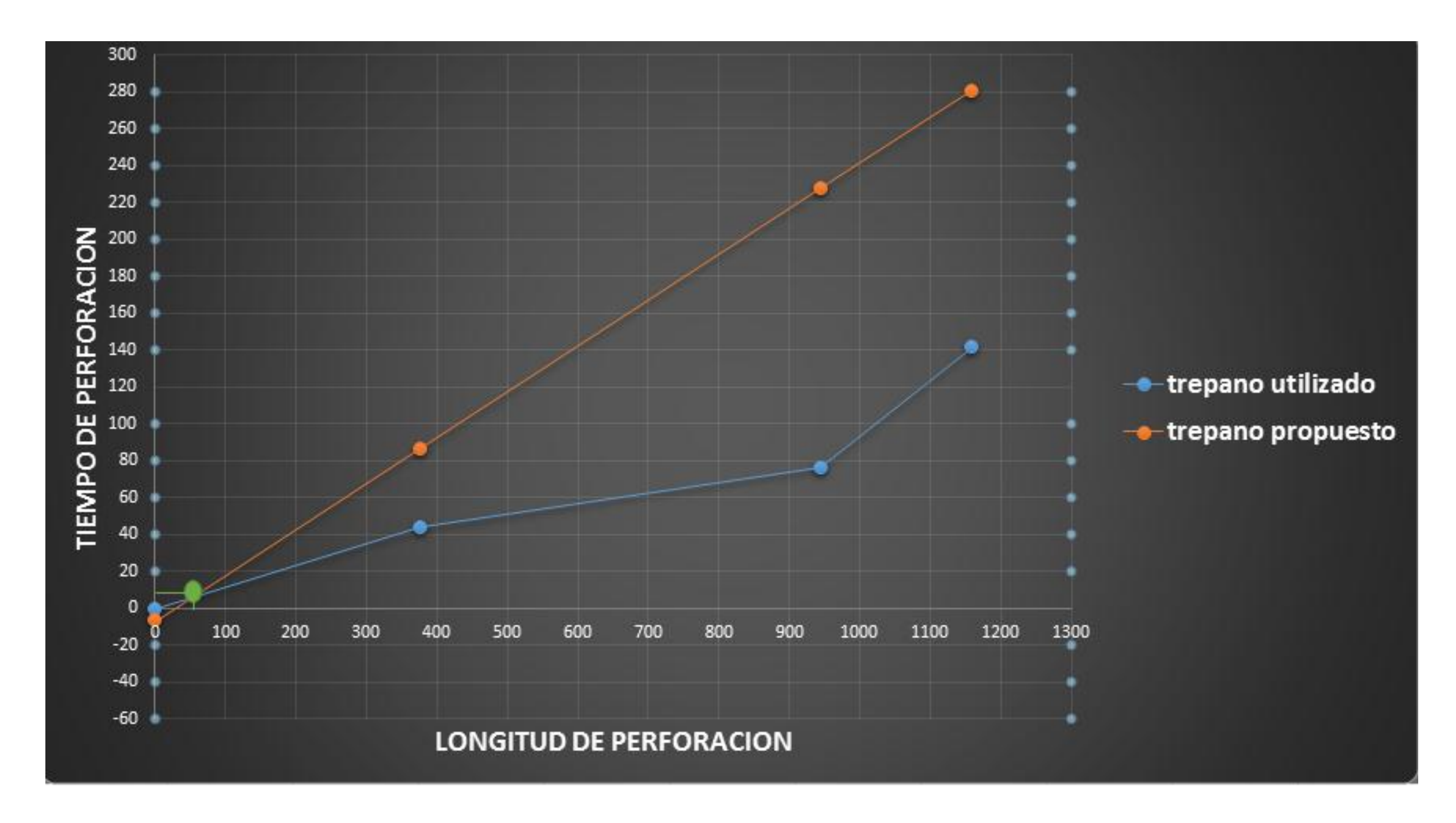
**VALORES DEL BREAK-EVEN POINT**

| Avance (m) | Tiempo de perforación (m) | Avance Acumulado (m) | Tiempo acumulado (h) | Ecuación del Break-even point (h) |
|---|---|---|---|---|
| 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | -6,55 |
| 375,00 | 43,80 | 375,00 | 43,80 | 86,47 |
| 570,00 | 32,50 | 945,00 | 76,30 | 227,86 |
| 213,00 | 65,20 | 1158,00 | 141,50 | 280,70 |

**Fuente:** Elaboración propia en base a datos del pozo DRD-1005

**FIGURA N° III. VII**

**BREAK-EVEN POINT**




**Fuente:** Elaboración propia en base a datos del pozo DRD-1005

### 3.2.3.4. Análisis de Trépanos

**CUADRO N° III. XIV**

**CARACTERÍSTICAS DE LOS TRÉPANOS UTILIZADOS DURANTE LA PERFORACIÓN DE LA FASE EN ESTUDIO**

| BIT | SIZE | MFG | TIPO | NOZZLES | SERIAL | DEPTH | DIST | DRILL G | ROP | ACC | WOB | RPM | MTR | RT | PUMP | FLOW | VERT | MW |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| N° | (in) | | | | N° | OUT | DRILL | TIME | m/h | TIME | Klb | | (rpm) | | PRESS | RATE | DESV | ppg |
| 3 | 8 1/2 | HTC | HCM 606 | 6 x 11 | 240054 | 3381 | 375 | 43,8 | 8,6 | 88,4 | 3 - 9 | 60 - 120 | 102 | OT | 2600 | 460 | 2,0 | 8,9 |
| 4 | 8 1/2 | HTC | HCM 406 | 6 x 11 | 240111 | 3951 | 570 | 32,5 | 17,53 | 121,0 | 10 - 15 | 30 - 50 | 122 | SS | 1900 | 420 | 4,0 | 8,9 |
| 5 | 8 1/2 | HTC | HCM 406 | 6 x 11 | 240111 | 4164 | 213 | 65,2 | 35,5 | 186,0 | 15 - 25 | 60 - 70 | 121 | OT | 2600 | 450 | 4,3 | 9,2 |

**Fuente:** Elaboración propia en base a datos del pozo DRD-1005

### 3.2.3.5. Desgaste de Trépanos

**CUADRO N° III. XV**

**DESGASTE DE LOS TRÉPANOS UTILIZADOS EN LA FASE DE ESTUDIO**

| BIT | SIZE | MFG | TIPO | NOZZLES | SERIAL | API CONDICION | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| N° | (in) | | | | N° | I | O | D | L | B | G | O | R |
| 3 | 8 1/2 | HTC | HCM 606 | 6 x 11 | 240054 | 1 | 2 | NO | NS | X | I | WT | HR |
| 4 | 8 1/2 | HTC | HCM 406 | 6 x 11 | 240111 | 1 | 1 | NO | A | X | I | ER | BHA |
| 5 | 8 1/2 | HTC | HCM 406 | 6 x 11 | 240111 | 4 | 5 | BT | NS | X | 3 | WT | TD |

**Fuente:** Elaboración propia en base a datos del pozo DRD-1005 (referencia de codificacion sección 2.8 CODIGOS IADC, págs. 61 a la 66)

# CAPITULO IV

# CAPITULO IV

# ANALISIS DE LOS RESULTADOS

## 4.1. POZO DRD X-1001

Después de haber realizado el análisis del break – even point para el pozo DRD X-1001, se tienen los siguientes resultados:

**CUADRO N° IV. I**

**BREAK - EVEN POINT DRD X-1001**

| POZO DRD X-1001 | Intersección |
|---|---|
| Profundidad calculada optima | 800 m |
| Tiempo de perforación óptimo | 350 h |

**Fuente:** Elaboración propia en base al gráfico break-even point DRD X-1001 (Figura N° III. III)

Esto implicaría una profundudad recorrida de 800 metros por cada 350 horas de perforacion.

### 4.1.1. EVALUACION DE COSTOS MEDIANTE EL BREAK-EVEN POINT

Empleando la profundidad óptima y el tiempo de perforación óptimo, obtenidos mediante el break – even point, se llega a los siguientes costos teóricos:

**CUADRO N° IV. II**

**COSTOS TEÓRICOS DRD X-1001**

| N° de trépano | Tipo de trépano | Costo del trépano $ | Costo de operación del Equipo ($/h) | Prof. Entrada (m) | Prof. Salida (m) | Longitud perforada (m) | Tiempo de viaje (h) | Tiempo de perforación (h) | Tiempo total (h) | Costo métrico ($/m) | costo $ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 21 | HTC G447XL | 35000 | 833,33 | 4015 | 4815 | 800 | 16,06 | 350 | 366,06 | 425,06 | 340048,78 |
| 21 | HTC G447XL | 35000 | 833,33 | 4815 | 5615 | 800 | 19,26 | 350 | 369,26 | 428,39 | 342715,44 |
| 21 | HTC G447XL | 35000 | 833,33 | 5615 | 6415 | 800 | 22,46 | 350 | 372,46 | 431,73 | 345382,09 |
| 22 | HTC G447XL | 35000 | 833,33 | 6415 | 6554 | 139 | 25,66 | 90 | 115,66 | 945,20 | 131382,95 |
| Longitud total perforada fase 8 1/2" | | | | | | 2539 | Costo métrico promedio fase 8 1/2" | | | 379,21 | 1159529,26 |

**Fuente:** Elaboracion propia

***"Valor real invertido"***

| | | | |
|---|---|---|---|
| **Longitud total de la fase 8 1/2"** | 2 5 3 9 | **Costo métrico promedio de la fase de 8 1/2"** | 5 4 1 , 5 3 |

**Referencia:** Cuadro N° III. III

Comparando el costo métrico promedio teórico con el costo real, se observa una diferencia de: **-162,32 $/m**, lo cual nos indica un valor ***"NO optimizado"*** para el pozo DRD X-1001, haciendo una diferencia en el costo total de: **-412130,48 $.**

### 4.1.2. EVALUACION DE DESGASTE SEGÚN CUADROS IADC

Según el cuadro observado (III. V) se puede verificar un considerable desgaste debido a las características de la fase de perforación, así como de la secuencia estratigráfica y condiciones geológicas características de la zona en cuestión.

Sin embargo las características de los materiales utilizados hacen que su función en condiciones poco favorables de presión y temperaturas, sean muy bien destacadas.

## 4.2. POZO DRD X-1004

Después de haber realizado el análisis del break – even point para el pozo DRD X-1004, se tienen los siguientes resultados:

**CUADRO N° IV. III**

**BREAK – EVEN POINT DRD X-1004**

| DRD X-1004 | Intersección |
|---|---|
| Profundidad calculada óptima | 350 m |
| Tiempo de perforación óptimo | 40 h |

**Fuente:** Elaboración propia en base al gráfico break-even point DRD X-1004 (Figura N° III. V)

Esto implicaria una profundudad recorrida de 350 metros por cada 40 horas de perforacion.

### 4.2.1. EVALUACION DE COSTOS MEDIANTE BRAK-EVEN POINT

**CUADRO N° IV. IV**

**COSTOS TEÓRICOS DRD X-1004**

| Nº de trépano | Tipo de trépano | Costo del trépano $ | Costo de operación del Equipo ($/h) | Prof. Entrada (m) | Prof. Salida (m) | Longitud perforada (m) | Tiempo de viaje (h) | Tiempo de perforación (h) | Tiempo total (h) | Costo métrico ($/m) | costo $ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 3 | HCM 606 | 29000 | 833,33 | 1660 | 2010 | 350 | 6,64 | 40 | 46,64 | 193,90 | 67866,51 |
| 3 | HCM 606 | 29000 | 833,33 | 2010 | 2360 | 350 | 8,04 | 40 | 48,04 | 197,24 | 69033,17 |
| 3 | HCM 606 | 29000 | 833,33 | 2360 | 2710 | 350 | 9,44 | 40 | 49,44 | 200,57 | 70199,84 |
| 3 | HCM 606 | 29000 | 833,33 | 2710 | 3060 | 350 | 10,84 | 40 | 50,84 | 203,90 | 71366,50 |
| 3 | HCM 606 | 29000 | 833,33 | 3060 | 3410 | 350 | 12,24 | 40 | 52,24 | 207,24 | 72533,16 |
| 3 | HCM 606 | 29000 | 833,33 | 3410 | 3760 | 350 | 13,64 | 40 | 53,64 | 210,57 | 73699,82 |
| 3 | HCM 606 | 29000 | 833,33 | 3760 | 4110 | 350 | 15,04 | 40 | 55,04 | 213,90 | 74866,48 |
| 3 | HCM 606 | 29000 | 833,33 | 4110 | 4223 | 113 | 16,44 | 15 | 31,44 | 488,49 | 55199,90 |
| Longitud total de la fase 8 1/2" | | | | | | 2563 | Costo métrico promedio de la fase de 8 1/2" | | | 312,03 | 40533,31 |

**Fuente:** Elaboración propia

***"Valor real invertido"***

| | | | |
|---|---|---|---|
| **Longitud total de la fase 8 1/2"** | 2563 | **Costo métrico promedio de la fase de 8 1/2"** | 275,73 |

**Referencia:** Cuadro N° III. VII

Comparando el costo métrico promedio teórico con el costo real, se observa una diferencia de: **36,30 $/m**, lo cual nos indica un valor ***"NO optimizado"*** para el pozo DRD X-1001, haciendo una diferencia en el costo total de: **93036,90 $.**

### 4.2.2. EVALUACION DE DESGASTE SEGÚN CUADROS IADC

En este caso el desgaste de los trépanos utilizados se considera es un poco menos agresivo que en el primer caso registrado según los resultados observados. (Ver Cuadro N° III. X)

## 4.3. POZO DRD-1005

Después de haber realizado el análisis del break – even point para el pozo DRD-1005, se tienen los siguientes resultados:

**CUADRO N° IV. V**

**BREAK - EVEN POINT DRD-1005**

| DRD-1005 | Intersección |
|---|---|
| Profundidad calculada óptima | 80 m |
| Tiempo de perforación optimo | 10 h |

**Fuente:** Elaboración propia grafico break-even point DRD-1005

Esto implicaria una profundudad recorrida de 80 metros por cada 10 horas de perforacion.

### 4.3.1. EVALUACION DE COSTOS MEDIANTE BRAK-EVEN POINT

**CUADRO N° IV. VI**

**COSTO TEÓRICO DRD-1005**

| N° de trépano | Tipo de trépano | Costo del trépano $ | Costo de operación del Equipo ($/h) | Prof. Entrada (m) | Prof. Salida (m) | Longitud perforada (m) | Tiempo de viaje (h) | Tiempo de perforación (h) | Tiempo total (h) | Costo métrico ($/m) | costo $ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 3 | HCM 606 | 29000 | 833,33 | 3006 | 3086 | 80 | 12,024 | 10 | 22,024 | 591,92 | 47353,26 |
| 4 | HCM 406 | 29000 | 833,33 | 3086 | 3166 | 80 | 12,344 | 10 | 22,344 | 595,25 | 47619,93 |
| 5 | HCM 406 | 29000 | 833,33 | 3166 | 3246 | 80 | 12,664 | 10 | 22,664 | 598,58 | 47886,59 |
| 6 | HCM 407 | 29000 | 833,33 | 3246 | 3326 | 80 | 12,984 | 10 | 22,984 | 601,92 | 48153,26 |
| 7 | HCM 407 | 29000 | 833,33 | 3326 | 3406 | 80 | 13,304 | 10 | 23,304 | 605,25 | 48419,92 |
| 8 | HCM 407 | 29000 | 833,33 | 3406 | 3486 | 80 | 13,624 | 10 | 23,624 | 608,58 | 48686,59 |
| 9 | HCM 407 | 29000 | 833,33 | 3486 | 3566 | 80 | 13,944 | 10 | 23,944 | 611,92 | 48953,25 |
| 10 | HCM 407 | 29000 | 833,33 | 3566 | 3646 | 80 | 14,264 | 10 | 24,264 | 615,25 | 49219,92 |
| 10 | HCM 407 | 29000 | 833,33 | 3646 | 3726 | 80 | 14,584 | 10 | 24,584 | 618,58 | 49486,58 |
| 10 | HCM 407 | 29000 | 833,33 | 3726 | 3806 | 80 | 14,904 | 10 | 24,904 | 621,92 | 49753,25 |
| 10 | HCM 407 | 29000 | 833,33 | 3806 | 3886 | 80 | 15,224 | 10 | 25,224 | 625,25 | 50019,92 |
| 10 | HCM 407 | 29000 | 833,33 | 3886 | 3966 | 80 | 15,544 | 10 | 25,544 | 628,58 | 50286,58 |
| 10 | HCM 407 | 29000 | 833,33 | 3966 | 4046 | 80 | 15,864 | 10 | 25,864 | 631,92 | 50553,25 |
| 10 | HCM 407 | 29000 | 833,33 | 4046 | 4126 | 80 | 16,184 | 10 | 26,184 | 635,25 | 50819,91 |
| 10 | HCM 407 | 29000 | 833,33 | 4126 | 4164 | 38 | 16,504 | 9 | 25,504 | 1322,45 | 50253,25 |
| Longitud total de la fase 8 1/2" | | | | | | 1158 | Costo métrico promedio de la fase de 8 1/2" | | | 636,84 | 737465,46 |

**Fuente:** Elaboración propia

***"Valor real invertido"***

| | | | |
|---|---|---|---|
| **Longitud total de la fase 8 1/2"** | 1158 | **Costo métrico promedio de la fase de 8 1/2"** | 206,72 |

**Referencia:** Cuadro N° III. XII

Comparando el costo métrico promedio teórico con el costo real, se observa una diferencia de: **430,12 $/m**, lo cual nos indica un valor ***"NO optimizado"*** para el pozo DRD X-1001, haciendo una diferencia en el costo total de: **498078,96 $.**

### 4.3.2. EVALUACION DE DESGASTE SEGÚN CUADROS IADC

No se observan fallas considerables en la fase en general excepto por la encontrada en la etapa final de la fase donde se evidencia diente o cortador roto debido a la característica de suelos "especulativamente". (Ver Cuadro N° III. XV)

## 4.4. COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS NUMÉRICOS (TOTALES)

En el cuadro N° III. XVI se pueden observar los totales optimizados en la perforación de los pozos DRD X-1001, DRD X-1004 y DRD-1005 correspondientes al campo El Dorado.

**CUADRO N° IV. VII**

**CUADRO COMPARATIVA DE COSTOS**

| POZO | Costo métrico promedio Teórico ($/m) | Costo métrico promedio Real ($/m) | Optimización ($/m) | Optimización Total ($) | Observación |
|---|---|---|---|---|---|
| **DRD X-1001** | 379,21 | 541,53 | -162,32 | -412130,48 | **NO OPTIMIZADO** |
| **DRD X-1004** | 312,03 | 275,73 | 36,30 | 93036,90 | **OPTIMIZADO** |
| **DRD-1005** | 636,84 | 206,72 | 430,12 | 498078,96 | **OPTIMIZADO** |
| **Totales** | **1328,08** | **1023,98** | **304,10** | **178985,38** | **OPTIMIZADO** |

**Referencia:** Elaboracion propia

# CAPITULO V

# CAPITULO V

# CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

## 5.1 CONCLUSIONES

- Las fallas más comunes encontradas durante la perforación fueron ocasionadas por desgaste o pérdida de los cortadores debido a las condiciones (abrasión) de la roca durante su perforación. Dando lugar a la hipótesis de ser ocasionadas por las condiciones propias de "la geología" (de las formaciones atravesadas).

- Así también se observa que los trépanos utilizados en los programas desarrollados por la empresa de servicios, los cuales en esta fase son de Diamante Poli cristalino Compacto, cumple con aptitudes muy resistentes bajo las condiciones propias de los estratos de la zona a ser considerada en el presente estudio. Concluyéndose finalmente que el programa utilizado en estas fases es el adecuado tanto en uso de materiales como procedimientos.

- El costo de perforación de los tres pozos asciende a un valor de **"2.321.003,91 (USD)"**.

- Luego de realizar un análisis exhaustivo a los valores, cuadros y resultados teóricos obtenidos mediante análisis matemático, se evidencia la optimización de: **"178.985,38 (USD)"** a favor de la operadora, concluyéndose que los sistemas actualmente utilizados están desenvolviéndose de forma óptima. Sin embargo se observó también que el primer pozo DRD X-1001 no se perforó en óptimas condiciones en contraste con la más óptima de las perforaciones, la cual fue en el pozo DRD–1005, el cual en base a la experiencia adquirida con los anteriores fue capaz de optimizarse con el tiempo. Acotando que estos valores de los costos reales y los calculados evidencian una diferencia menor en el costo real invertido para las perforaciones.

- Considerando que si se realizaba un análisis para todas las fases implicadas en la perforación los montos optimizados se estiman sean aún mayores, llegándose a deducir que la relación de costo-beneficio fue la adecuada.

## 5.2 RECOMENDACIONES

- Luego de haber logrado la resolución de las variables analizadas se recomienda el uso de estos sistemas durante la fase de 8 ½”. Considerando los trépanos de PDC y los de diamante impregnado para obtener resultados favorables en términos de tiempo y tasa de perforación.

- Así también se observa un desgaste considerable en las barrenas utilizadas para el pozo DRD X-1001, esto debido a las condiciones particulares de la zona perforada, sui generis, según autoevaluación critica, ya que no se tiene el dato de las condiciones iniciales de las herramientas utilizadas por las compañías que proporcionaron el servicio. Recomendando un análisis orientado a testigos estratigráficos y variables operativas utilizadas.

- Sin embargo es posible mejorar aún más la eficiencia de estos procesos, pero requiere de un monto de inversión, análisis no considerado en el presente estudio, como ser la implementación de departamentos de I&D (investigación y desarrollo) actualmente implementados en compañías fuera de nuestro país, las cuales son sustentadas con los beneficios globales (mundiales) obtenidos por las compañías transnacionales debido a los exorbitantes costos de operación.

# INDICE DE PALABRAS ABREVIADAS

- CFG (Cubic Feet Gas)
- CFG (Cubic Feet Gas)
- Fm (Formación)
- Gpm (Gallons per minute)
- h (hora)
- IADC (International Association of Drilling Contractors)
- in (Pulgadas)
- Klbs (Kilolibras)
- $Km^2$ (Kilómetro cuadrado)
- m (metro)
- Mrmr (metros sobre mesa rotatoria)
- PDC (polycrystalline diamond compact)
- PDC (Polycrystalline Diamond Compact)
- ppg (pounds per gallon)
- PSI (Pounds per Square Inchs)
- ROP (Rate of Penetration)RPM (Revoluciones por minuto)
- True Vertical Depth SubSea
- TSP (Thermally Stable Polycrystalline)
- TVD (True Vertical Depth)
- WBM (Water Base Mud)
- WOB (Weight on Bit, weight on barrene)
- YPFB (Yacimientos Petroliferos Fiscales Bolivianos)

## BIBLIOGRAFIA


- ADAMS, Neal J. “Drilling Engineering, A Complete Well Planning Approach”, TULSA, 1985.
- ALBA, Eduardo, Industria de los Hidrocarburos, II Parte: Perforación, Cámara Boliviana de Hidrocarburos, Bolivia, 2008
- BAKER-HUGHES, “Bit Presentation”, documento electrónico, 2001.
- BAKER-HUGHES, “Drilling Engineering Workbook”, documento electrónico, 1995.
- BAUER, A.: «Drilling and Blasting». Bucyrus Erie. 1979.
- BERNAOLA, J.: «Predicción de la Velocidad de Perforación a Percusión mediante Ensayo de Laboratorio sobre Muestras de Roca». Tesis Doctoral E.T.S. Ingenieros de Minas de Madrid. 1984.
- BURGOYNE, Adam. “Applied Drilling Engineering”. SPE, 1991.
- CARDEN, Richard. “Horizontal and Directional Drilling”. PetroSkill. 2007.
- DR. BILL MITCHELL. Advanced Oilwell Drilling Engineering Handbook & Computer Programs. Mitchell Engineering. Lakewood, Colorado. 1995.
- ENI, “Drilling Design Manual”, documento electrónico, 2008.
- HALLIBURTON, Manual de brocas, 2000
- HUGHES Christensen catálogo de brocas, 2011
- INFORME FINAL de perforación y terminación chaco s.a. pozo El Dorado X-1004, Bolivia 2005
- INFORME GEOLOGICO FINAL pozo el dorado 1005 empresa petrolera YPFB chaco, Bolivia 2010.
- JAEGGER, “Fundamentals of Rock Mechanics”, documento electrónico, 1987.
- MITCHELL, Bill. “Advanced Oilwell Drilling Enginnering”. 1995.

❖ PDVSA, “Teoría de Perforación”, documento electrónico, 2008.

❖ PRASSL, Wolfgang. “Drilling Engineering”. Curtin University of Technology.

❖ REPORTE FINAL Pan American Energy Drd x-1001 el dorado Bolivia, 1999

❖ SCHLUMBERGER, “Tecnología de Perforación”, documento electrónico, 2004.

❖ UAC, “Mecánica de Rocas”, documento electrónico, 2007.

❖ Unidad de Perforación y Mantenimiento de Pozo. Barrenas e Hidráulica de Perforación, Un siglo de Perforación en México. PEMEX. Ciudad de México, México D.F. 2000.

❖ WALKERS et al. “Desing of muds for Carrying Capacity”, SPE, 1998.

❖ Yépez Justiniano José René, “Apuntes de clases”.

## WEBLOGRAFÍA

❖ http://achjij.blogspot.com/2011/06/mechas-e-hidraulica-aplicadas-para-las.html

❖ http://ocw.utm.my/file.php/12/Chapter_4-OCW.pdf

❖ http://www.geotecdrill.es/1-diamond-tools/1-drilling-bits-5.html

❖ http://www.hidrocarburosbolivia.com/bolivia-mainmenu-117/ypfb-petroleras-mainmenu-118/45546-petroleras-en-bolivia-pierden-con-bloqueos.html

❖ http://www.pir.sa.gov.au/__data/assets/pdf_file/0005/25259/drilling_and_well_operations_seo__november_2003_.pdf

❖ http://www.scribd.com/doc/103321664/ONGC-Drilling-Operation-Practices-Manual-2007

❖ http://www.scribd.com/doc/63752474/QUE-ES-UNA-BARRENA

❖ http://www.ypfbchaco.com.bo/index.php/campos/el-dorado.html

❖ https://www.scribd.com/doc/62013371/Herramientas-de-Pesca

# ANEXO 1

# CARACTERISTICAS DEL DESGASTE DE LOS TREPANOS

| CARACTERISTICAS DEL DESGASTE | | | |
|---|---|---|---|
| **Característica** | **Símbolo** | **Definición** | **Figura** |
| Falla de Adherencia | BF | El trépano presenta una falla de adherencia, cuando la superficie presente entre los substratos de carburo de tungsteno se despega[1]. | |
| Cortadores Rotos | BT | Se considera que el trépano está roto si más de un tercio de sus cortadores desapareció sin importar la causa[2]. | |
| Embolado | BU | Condición en la los recortes provenientes de la formación se compactan entre el cuerpo del trépano y/o los elementos de corte, de tal manera que la ROP se ve afectada. Podrá o no existir evidencia de daño físico al trépano[3]. | |
| Cortadores cincelados o astillados | CT | Los cortadores muestran signo de astillamiento. Se considera que el trépano se encuentra astillado si menos de un tercio del elemento de corte desapareció sin importar la causa[4]. | |
| Erosión | ER | Condición que describe la erosión de la estructura de corte debido a impactos de fluidos de perforación y elementos sólidos[5]. | |
| Dañado por Calor | HC | Los cortadores muestran efectos de insuficiente enfriamiento. El carburo del cortador se encuentra desgastado y presenta fisuras por fatiga térmica. El cuerpo en trépanos de acero puede presentar una coloración azul[6]. | |

**Continuación del cuadro anterior**

| | | | |
|---|---|---|---|
| Tobera tapada | PN | Característica que describe que el trépano presenta una o más toberas (boquillas) están obstruidas, disminuyendo y/o evitando el flujo del fluido[10]. | |
| Diámetro externo desgastado | RG | Condición en donde el diámetro externo del cortador presenta un desgaste de forma redondeada[11]. | |
| Desgaste anillado | RO | Se caracteriza por la pérdida de estructura de corte en una posición radial. Se puede formar un núcleo si el trépano no es extraído[12]. | |

| | | | |
|---|---|---|---|
| Daño por chatarra metálica | JD | Condición en la cual el trépano presenta daños ocasionados por objetos distintos a los recortes de la formación (restos de trépanos anteriores, herramientas arrojadas en el pozo, partes del BHA) [7]. | |
| Tobera Perdida | LN | Característica que describe que el trépano que ha perdido una o más toberas (boquillas), debido a la instalación inadecuada o tipo de tobera (boquilla) inadecuada para la aplicacion[8]. | |
| Cortador perdido | LT | Característica que describe que a la estructura de corte del trépano le faltan uno o más elementos de corte[9]. | |

**Continuación del cuadro anterior**

| | | | |
|---|---|---|---|
| Rotura por erosión | WO | Se presenta cuando el fluido se filtra a través de la espiga de conexión del trépano. Si la pérdida de presión no es detectada, se puede producir la desconexión o rotura de la herramienta[13]. | |
| Cortadores gastados | WT | Característica de desgaste plano normal[14]. Es una reducción en la altura del elemento de corte debido a la acción de perforación. | |
| No tiene características de desgaste | NO | Característica que indica que el trépano no muestra ningún signo de desgaste o que no se observan características de desgaste. | |

**Fuente:** Gerencia de Entrenamiento y Desarrollo & Gerencia Regional de Servicios Técnicos. Introducción a Brocas PDC. Smith International.2003

# ANEXO 2

## INFORMACIÓN GEOGRÁFICA DE LOS POZOS EN CUESTIÓN:

**GLOBAL EXPLORATION & PRODUCTION SERVICE**

# BOLIVIA

SUBANDEAN

| SCALE :1: 500,000 | MARCH 2011 | REF : BO11H1SUB | WR |
|---|---|---|---|

DATUM : SBO : South America 69 Bolivia
PROJECTION : U.T.M
CENTRAL MERIDIAN : 63 deg 00' 0.000 W Greenwich
LATITUDE OF ORIGIN : 0 deg 00' 00.000 N
SCALE FACTOR : 0.9996

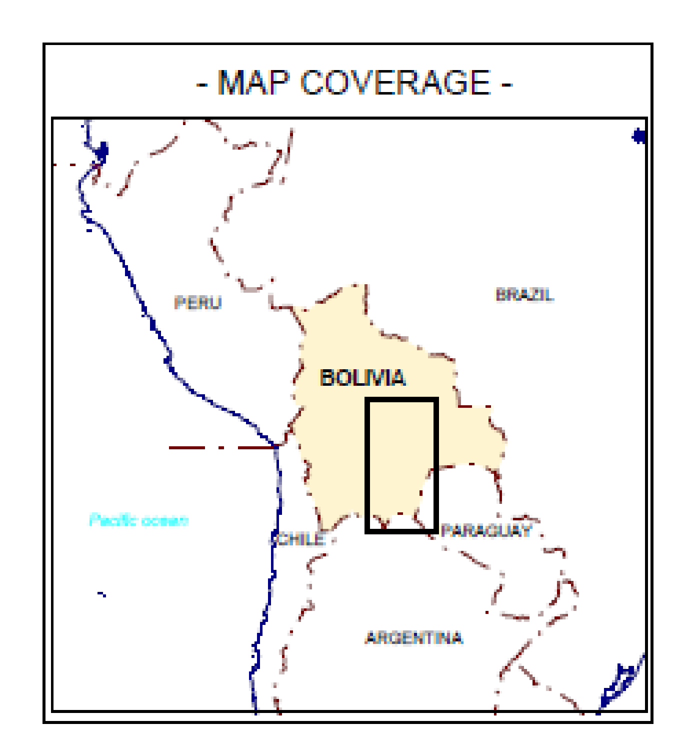
SPHEROID : International 1967
GRID : S20 IND : UTM zone 20 S

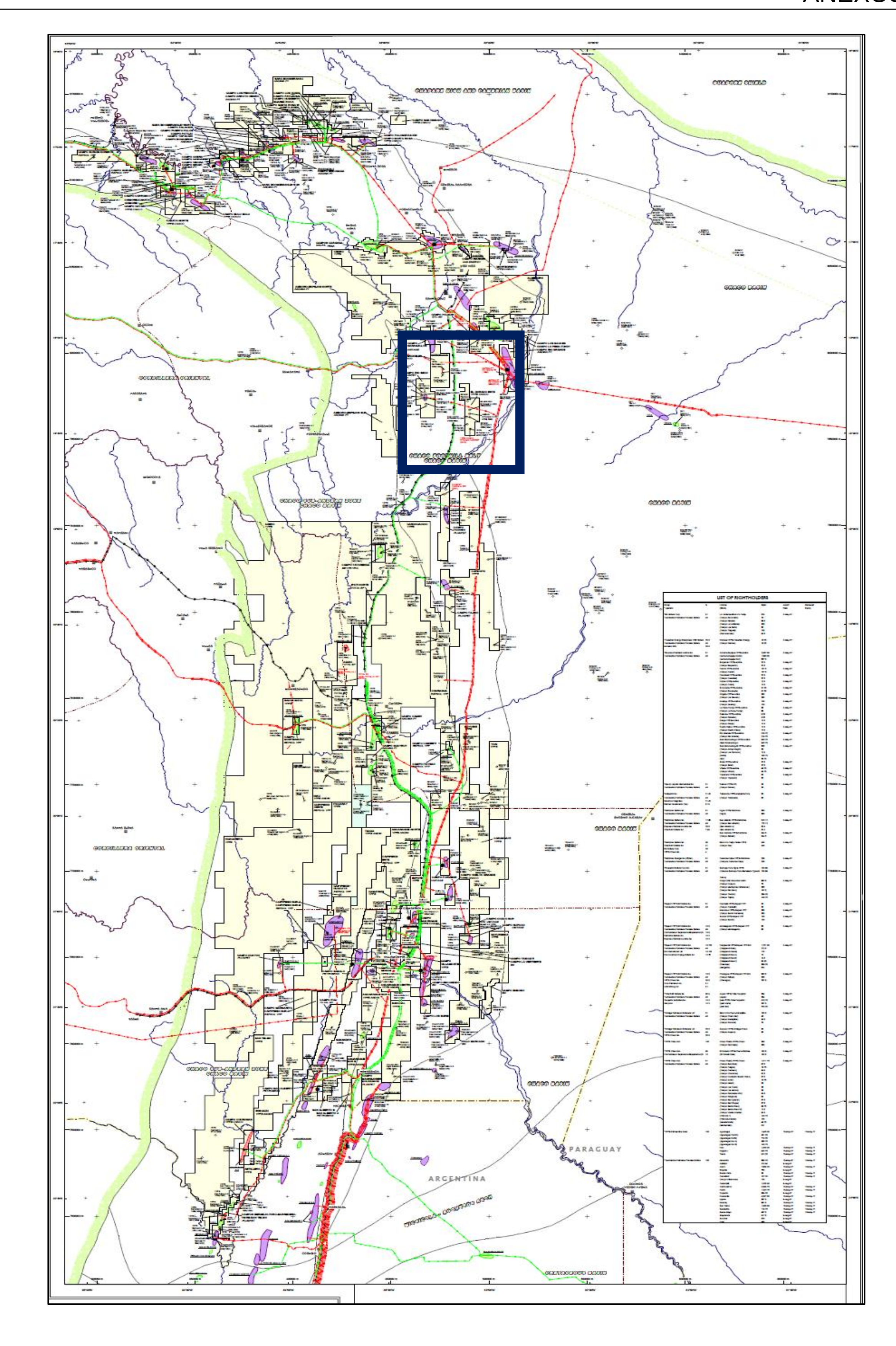
FALSE EASTING : 500000.000m
FALSE NORTHING : 10000000.000m

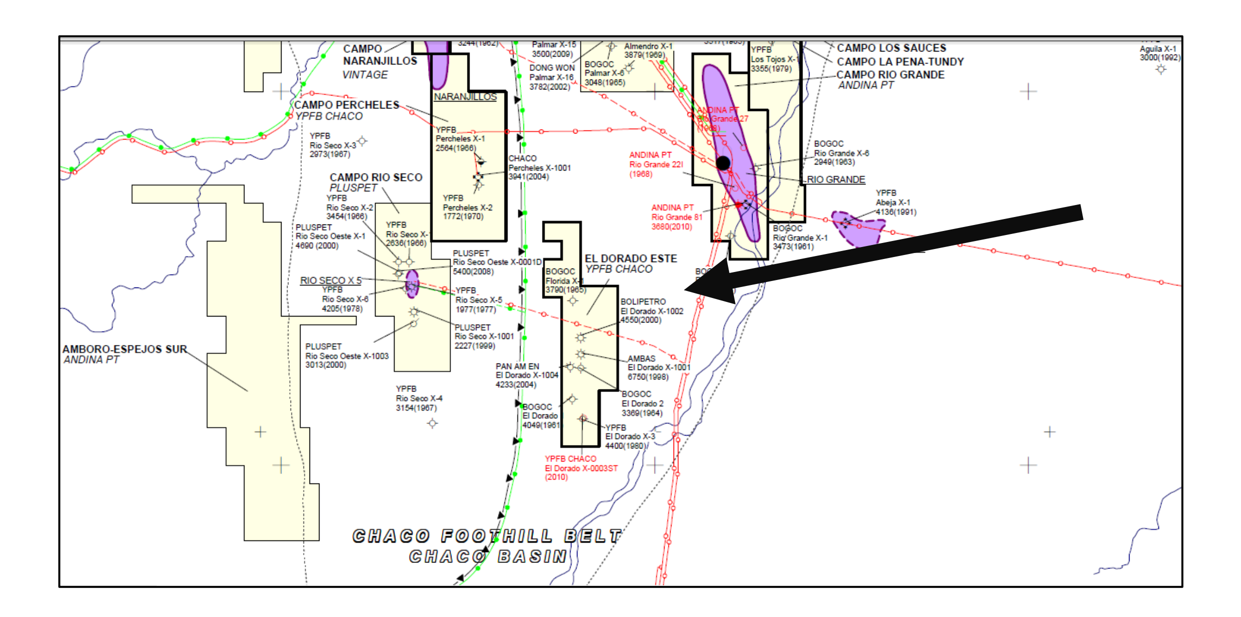
www.ihs.com/energy sales@ihs.com



This map represents the status of Carto Data and IRIS21 databases on 25-03-2011.
It is not an authority on the delineation of international boundaries.




LIST OF RIGHTHOLDERS
PARAGUAY
ARGENTINA



**Fuente:** Documento electrónico no publicado IHS

# ANEXO 3

## DATOS DEL POZO DRD X-1001:

**Área:** El Dorado
**Cuenca:** Tarija
**Pozo:** Dorado X-1001 (DRD X-1001)
**Estructura:** Anticlinal El Dorado
**Operadora:** YPFB CHACO S.A.
**Perforadora:** PAN AMERICAN ENERGY
**Coordenadas Utm:**
**X:** 7965190
**Y:** 490075
**Z:** 436 msnm
**Mesa rotaria:** 9.75 m

**Inicio de perforación del pozo:** 05/12/98
**Final de perforación del pozo:** 05/07/99
**Profundidad Final:** 6740 m
**Profundidad vertical final:** 6740 m
**DATOS DEL EQUIPO:**
**Equipo:** H&P # 175
**Tipo de Equipo:** Eléctrico
**Bombas:** GDP 2 11, 6 ½" X 11, 4.50Gal/Embolada a 96% de eficiencia

## TIPO DE LODO

| Tramo (m) | Tipo de lodo | Densidad (ppg) |
|---|---|---|
| 50-170 | Bentonita Extendida | 8,00-8.60 |
| 170-4015 | PHPA/KLA GARD | 8,60-9,30 |
| 4015-6740 | OBM | 11,50-18,70 |

## ARREGLOS DE PERFORACION:

Conjunto de Fondo, Sección 8 1/2", BHA 28, 5215m-5218m

| DESCRIPCION | N° SERIE | OD (in) | ID (in) | LARGO (m) |
|---|---|---|---|---|
| Trép # 21 5R G447XL | 400914 | 8 1/2 | 2 13/16 | 0,29 |
| Near Bit Stabilizer 8 1/2" | 175BS801 | 8 | 2 13/16 | 0,92 |
| Drill Collar 6 1/2" | HP | 6 1/2 | 2 13/16 | 9,47 |
| Drill Collar 6 1/2" | 15470 | 6 1/2 | 2 13/16 | 9,47 |
| Drill Collar 6 1/2" | 15343 | 6 1/2 | 2 13/16 | 9,47 |
| Drill Collar 6 1/2" | 18480 | 6 1/2 | 2 13/16 | 9,47 |
| Drill Collar 6 1/2" | 10106 | 6 1/2 | 2 13/16 | 9,50 |
| Drill Collar 6 1/2" | 15939 | 6 1/2 | 2 13/16 | 9,47 |
| Drill Collar 6 1/2" | 12508 | 6 1/2 | 2 13/16 | 9,39 |
| Drill Collar 6 1/2" | 10398 | 6 1/2 | 2 13/16 | 9,47 |
| Drill Collar 6 1/2" | 15878 | 6 1/2 | 2 13/16 | 9,47 |
| Drill Collar 6 1/2" | 15484 | 6 1/2 | 2 13/16 | 9,40 |
| Drill Collar 6 1/2" | 15472 | 6 1/2 | 2 13/16 | 9,43 |
| Drill Collar 6 1/2" | 16361 | 6 1/2 | 2 13/16 | 9,48 |
| Drill Collar 6 1/2" | 10099 | 6 1/2 | 2 13/16 | 9,43 |
| Drill Collar 6 1/2" | 15888 | 6 1/2 | 2 13/16 | 9,50 |
| Drill Collar 6 1/2" | 15870 | 6 1/2 | 2 13/16 | 9,48 |

**Continuación del cuadro anterior**

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Drill Collar 6 1/2" | 15398 | 6 1/2 | 2 13/16 | 9,47 |
| Drill Collar 6 1/2" | 15395 | 6 1/2 | 2 13/16 | 9,47 |
| Drill Collar 6 1/2" | 16374 | 6 1/2 | 2 13/16 | 9,30 |
| X-O | 175-HP-605 | 6 5/8 | 2 7/8 | 1,02 |
| HWDP 5" | 17452 | 5 | 3 | 9,37 |
| HWDP 5" | 17447 | 5 | 3 | 9,38 |
| HWDP 5" | 18300 | 5 | 3 | 9,37 |
| HWDP 5" | 17435 | 5 | 3 | 9,37 |
| HWDP 5" | 17479 | 5 | 3 | 9,37 |
| HWDP 5" | 17455 | 5 | 3 | 9,37 |
| HWDP 5" | 17440 | 5 | 3 | 9,38 |
| HWDP 5" | 17449 | 5 | 3 | 9,37 |
| HWDP 5" | 17473 | 5 | 3 | 9,38 |
| HWDP 5" | 17457 | 5 | 3 | 9,37 |
| HWDP 5" | 18302 | 5 | 3 | 9,37 |
| HWDP 5" | 17466 | 5 | 3 | 9,37 |
| **TOTAL** | | | | 284,84 |

Conjunto de Fondo, Sección 8 1/2", BHA 29, 5218m-5226m

| DESCRIPCION | N° SERIE | OD (in) | ID (in) | LARGO (m) |
|---|---|---|---|---|
| Trép # 21 6R G447XL | 400914 | 8 1/2 | | 0,29 |
| Near Bit Stabilizer 8 1/2" | SB 253 | 8 | 2 13/16 | 2,01 |
| Short Drill Collar 6 1/2" | SB 256 | 6 1/2 | 2 13/16 | 3,01 |
| Stabilizer 8 1/2" | SB 196 | 6 9/16 | 2 15/16 | 1,70 |
| Drill Collar 6 1/2" | HP | 6 1/2 | 2 13/16 | 9,47 |
| Stabilizer 8 1/2" | SB 191 | 6 9/16 | 2 15/16 | 1,80 |
| Drill Collar 6 1/2" | 15470 | 6 1/2 | 2 13/16 | 9,47 |
| Drill Collar 6 1/2" | 15343 | 6 1/2 | 2 13/16 | 9,47 |
| Drill Collar 6 1/2" | 18480 | 6 1/2 | 2 13/16 | 9,47 |
| Drill Collar 6 1/2" | 10106 | 6 1/2 | 2 13/16 | 9,50 |
| Drill Collar 6 1/2" | 15939 | 6 1/2 | 2 13/16 | 9,47 |
| Drill Collar 6 1/2" | 12508 | 6 1/2 | 2 13/16 | 9,39 |
| Drill Collar 6 1/2" | 10398 | 6 1/2 | 2 13/16 | 9,47 |
| Drill Collar 6 1/2" | 15878 | 6 1/2 | 2 13/16 | 9,47 |
| Drill Collar 6 1/2" | 15484 | 6 1/2 | 2 13/16 | 9,40 |
| Drill Collar 6 1/2" | 15472 | 6 1/2 | 2 13/16 | 9,43 |
| Drill Collar 6 1/2" | 16361 | 6 1/2 | 2 13/16 | 9,48 |
| Drill Collar 6 1/2" | 10099 | 6 1/2 | 2 13/16 | 9,43 |
| Drill Collar 6 1/2" | 15888 | 6 1/2 | 2 13/16 | 9,50 |
| Drill Collar 6 1/2" | 15870 | 6 1/2 | 2 13/16 | 9,48 |
| Drill Collar 6 1/2" | 15398 | 6 1/2 | 2 13/16 | 9,47 |

**Continuación del cuadro anterior**

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Drill Collar 6 1/2" | 15395 | 6 1/2 | 2 13/16 | 9,47 |
| Drill Collar 6 1/2" | 16379 | 6 1/2 | 2 13/16 | 9,30 |
| Jars | 339-065671-5 | 6 9/16 | 2 1/4 | 4,84 |
| Drill Collar 6 1/2" | 15937 | 6 1/2 | 2 13/16 | 9,47 |
| Drill Collar 6 1/2" | 15399 | 6 1/2 | 2 13/16 | 9,41 |
| Drill Collar 6 1/2" | SP-701-119 | 6 1/2 | 2 13/16 | 9,11 |
| X-O | 175-HP-605 | 6 5/8 | 6 5/8 | 1,02 |
| HWDP 5" | 17452 | 5 | 3 | 9,37 |
| HWDP 5" | 17447 | 5 | 3 | 9,38 |
| HWDP 5" | 18300 | 5 | 3 | 9,37 |
| HWDP 5" | 17435 | 5 | 3 | 9,37 |
| HWDP 5" | 17479 | 5 | 3 | 9,37 |
| HWDP 5" | 17455 | 5 | 3 | 9,37 |
| HWDP 5" | 17440 | 5 | 3 | 9,38 |
| HWDP 5" | 17449 | 5 | 3 | 9,37 |
| HWDP 5" | 17473 | 5 | 3 | 9,38 |
| HWDP 5" | 17457 | 5 | 3 | 9,37 |
| HWDP 5" | 18302 | 5 | 3 | 9,37 |
| HWDP 5" | 17466 | 5 | 3 | 9,37 |
| **TOTAL** | | | | 325,27 |

Conjunto de Fondo, Sección 8 1/2", BHA 30, 5226m-5240m

| DESCRIPCION | N° SERIE | OD (in) | ID (in) | LARGO (m) |
|---|---|---|---|---|
| Trép # 21 7R G447XL | 400914 | 8 1/2 | | 0,29 |
| Near Bit Stabilizer 8 1/2" | SB 140 | 8 | 2 13/16 | 1,35 |
| Short Drill Collar 6 1/2" | SB 225 | 6 1/2 | 2 13/16 | 3,03 |
| Stabilizer 8 1/2" | SB 072 | 6 9/16 | 2 15/16 | 1,28 |
| Drill Collar 6 1/2" | HP | 6 1/2 | 2 13/16 | 9,47 |
| Stabilizer 8 1/2" | SB 218 | 6 9/16 | 2 15/16 | 1,54 |
| Drill Collar 6 1/2" | 15470 | 6 1/2 | 2 13/16 | 9,47 |
| Drill Collar 6 1/2" | 15343 | 6 1/2 | 2 13/16 | 9,47 |
| Drill Collar 6 1/2" | 18480 | 6 1/2 | 2 13/16 | 9,47 |
| Drill Collar 6 1/2" | 10106 | 6 1/2 | 2 13/16 | 9,50 |
| Drill Collar 6 1/2" | 15939 | 6 1/2 | 2 13/16 | 9,47 |
| Drill Collar 6 1/2" | 12508 | 6 1/2 | 2 13/16 | 9,39 |
| Drill Collar 6 1/2" | 10398 | 6 1/2 | 2 13/16 | 9,47 |
| Drill Collar 6 1/2" | 15878 | 6 1/2 | 2 13/16 | 9,47 |
| Drill Collar 6 1/2" | 15484 | 6 1/2 | 2 13/16 | 9,40 |
| Drill Collar 6 1/2" | 15472 | 6 1/2 | 2 13/16 | 9,43 |
| Drill Collar 6 1/2" | 16361 | 6 1/2 | 2 13/16 | 9,48 |
| Drill Collar 6 1/2" | 10099 | 6 1/2 | 2 13/16 | 9,43 |

**Continuación del cuadro anterior**

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Drill Collar 6 1/2" | 15888 | 6 1/2 | 2 13/16 | 9,50 |
| Drill Collar 6 1/2" | 15870 | 6 1/2 | 2 13/16 | 9,48 |
| Drill Collar 6 1/2" | 15398 | 6 1/2 | 2 13/16 | 9,47 |
| Drill Collar 6 1/2" | 15395 | 6 1/2 | 2 13/16 | 9,47 |
| Jar Sub | FCS 65203 | 6 1/2 | 2 13/16 | 2,17 |
| Jars | 339-065671-5 | 6 9/16 | 2 1/4 | 4,84 |
| Jar Sub | FCS 65203 | 6 1/2 | 2 13/16 | 2,17 |
| Drill Collar 6 1/2" | 15937 | 6 1/2 | 2 13/16 | 9,47 |
| Drill Collar 6 1/2" | 15399 | 6 1/2 | 2 13/16 | 9,41 |
| Drill Collar 6 1/2" | SP-701-119 | 6 1/2 | 2 13/16 | 9,11 |
| X-O | 175-HP-605 | 6 5/8 | 6 5/8 | 1,02 |
| HWDP 5" | 17452 | 5 | 3 | 9,37 |
| HWDP 5" | 17447 | 5 | 3 | 9,38 |
| HWDP 5" | 18300 | 5 | 3 | 9,37 |
| HWDP 5" | 17435 | 5 | 3 | 9,37 |
| HWDP 5" | 17479 | 5 | 3 | 9,37 |
| HWDP 5" | 17455 | 5 | 3 | 9,37 |
| HWDP 5" | 17440 | 5 | 3 | 9,38 |
| HWDP 5" | 17449 | 5 | 3 | 9,37 |
| HWDP 5" | 17473 | 5 | 3 | 9,38 |
| HWDP 5" | 17457 | 5 | 3 | 9,37 |
| HWDP 5" | 18302 | 5 | 3 | 9,37 |
| HWDP 5" | 17466 | 5 | 3 | 9,37 |
| **TOTAL** | | | | 318,99 |

Conjunto de Fondo, Sección 8 1/2", BHA 34, 5240m-5400m

| DESCRIPCION | N° SERIE | OD (in) | ID (in) | LARGO (m) |
|---|---|---|---|---|
| Trép # 21 8R G447XL | 400914 | 8 1/2 | | 0,29 |
| Bit Sub | 175-SB-161 | 6 1/2 | 2 7/8 | 0,90 |
| Drill Collar 6 1/2" | H&P 002 | 6 1/2 | 2 1/2 | 9,46 |
| Stabilizer | R 11562 | 6 1/2 | 2 3/8 | 1,29 |
| Drill Collar 6 1/2" | H&P 003 | 6 1/2 | 2 1/2 | 9,46 |
| Stabilizer | SB 165 | 6 1/2 | 2 3/8 | 1,38 |
| Drill Collar 6 1/2" | H&P 005 | 6 1/2 | 2 1/2 | 9,47 |
| Drill Collar 6 1/2" | H&P 001 | 6 1/2 | 2 1/2 | 9,47 |
| Drill Collar 6 1/2" | H&P 013 | 6 1/2 | 2 1/2 | 9,46 |
| Drill Collar 6 1/2" | H&P 006 | 6 1/2 | 2 1/2 | 9,46 |
| Drill Collar 6 1/2" | H&P 015 | 6 1/2 | 2 1/2 | 9,47 |
| Drill Collar 6 1/2" | H&P 009 | 6 1/2 | 2 1/2 | 9,47 |
| Drill Collar 6 1/2" | H&P 014 | 6 1/2 | 2 1/2 | 9,47 |
| Drill Collar 6 1/2" | H&P 004 | 6 1/2 | 2 1/2 | 9,46 |

**Continuación del cuadro anterior**

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Jar Sub | FCS 65203 | 6 1/2 | 2 1/2 | 2,17 |
| Jars | 339-06567 | 6 9/16 | 2 13/16 | 4,84 |
| Jar Sub | FCS 65202 | 6 1/2 | 2 1/4 | 2,17 |
| Drill Collar 6 1/2" | H&P 016 | 6 1/2 | 2 1/2 | 9,46 |
| X-O | H&P 084 | 6 5/8 | 2 7/8 | 1,23 |
| HWDP 5" | 17471 | 5 | 3 | 9,37 |
| HWDP 5" | 17443 | 5 | 3 | 9,37 |
| HWDP 5" | 17551 | 5 | 3 | 9,37 |
| HWDP 5" | 17442 | 5 | 3 | 9,37 |
| HWDP 5" | 17470 | 5 | 3 | 9,38 |
| HWDP 5" | 17441 | 5 | 3 | 9,38 |
| HWDP 5" | 17476 | 5 | 3 | 9,38 |
| HWDP 5" | 17436 | 5 | 3 | 9,38 |
| HWDP 5" | 17465 | 5 | 3 | 9,37 |
| HWDP 5" | 17478 | 5 | 3 | 9,37 |
| HWDP 5" | 17472 | 5 | 3 | 9,37 |
| HWDP 5" | 17437 | 5 | 3 | 9,38 |
| **TOTAL** | | | | 230,87 |

Conjunto de Fondo, Sección 8 1/2", BHA 35, 5400m-5400m
RIH: Densificar

| DESCRIPCION | N° SERIE | OD (in) | ID (in) | LARGO (m) |
|---|---|---|---|---|
| Trép # 21 8R G447XL | 400914 | 8 1/2 | | 0,29 |
| Bit Sub | 175-BS-601 | 6 1/2 | 2 7/8 | 0,90 |
| Drill Collar 6 1/2" | H&P 003 | 6 1/2 | 2 1/2 | 9,46 |
| Drill Collar 6 1/2" | H&P 009 | 6 9/16 | 2 1/2 | 9,47 |
| Drill Collar 6 1/2" | H&P 001 | 6 1/2 | 2 1/2 | 9,47 |
| Jars | FCS 65203 | 6 1/2 | 2 3/16 | 2,17 |
| Jar Sub | 339-065671 | 6 1/2 | 2 1/4 | 4,84 |
| Drill Collar 6 1/2" | H&P 005 | 6 1/2 | 2 3/16 | 2,17 |
| X-O | H&P 082 | 6 1/2 | 2 3/16 | 9,47 |
| HWDP 5" | 18300 | 5 | 3 | 1,52 |
| HWDP 5" | 17452 | 5 | 3 | 9,37 |
| HWDP 5" | 17447 | 5 | 3 | 9,37 |
| HWDP 5" | 17455 | 5 | 3 | 9,38 |
| HWDP 5" | 17471 | 5 | 3 | 9,37 |
| HWDP 5" | 17443 | 5 | 3 | 9,37 |
| HWDP 5" | 17551 | 5 | 3 | 9,37 |
| HWDP 5" | 17442 | 5 | 3 | 9,37 |
| HWDP 5" | 17470 | 5 | 3 | 9,37 |
| HWDP 5" | 17441 | 5 | 3 | 9,38 |
| HWDP 5" | 17476 | 5 | 3 | 9,38 |

**Continuación del cuadro anterior**

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| HWDP 5" | 17436 | 5 | 3 | 9,38 |
| HWDP 5" | 17465 | 5 | 3 | 9,38 |
| HWDP 5" | 17478 | 5 | 3 | 9,37 |
| HWDP 5" | 17472 | 5 | 3 | 9,37 |
| HWDP 5" | 17437 | 5 | 3 | 9,37 |
| HWDP 5" | 17438 | 5 | 3 | 9,38 |
| **TOTAL** | | | | 199,74 |

Conjunto de Fondo, Sección 8 1/2", BHA 36, 5400m-5400m
RIH: Normalizar

| DESCRIPCION | N° SERIE | OD (in) | ID (in) | LARGO (m) |
|---|---|---|---|---|
| Trép #21 8R | 400914 | 8 1/2 | | 0,29 |
| Bit Sub | 175-BS-601 | 6 1/2 | 2 7/8 | 0,90 |
| Drill Collar 6 1/2" | H&P 003 | 6 1/2 | 2 1/2 | 9,46 |
| Drill Collar 6 1/2" | H&P 009 | 6 9/16 | 2 1/2 | 9,47 |
| Drill Collar 6 1/2" | H&P 001 | 6 1/2 | 2 1/2 | 9,47 |
| X-O | H&P 082 | 6 1/2 | 2 13/16 | 1,52 |
| HWDP 5" | 17452 | 5 | 3 | 9,37 |
| HWDP 5" | 17447 | 5 | 3 | 9,47 |
| HWDP 5" | 16415 | 5 | 3 | 9,47 |
| Jar Sub | FCS 65204 | 6 9/16 | 2 1/4 | 2,07 |
| Jar | 33965656 | 6 9/16 | 2 1/4 | 4,84 |
| Jar Sub | FCS 65206 | 6 9/16 | 2 1/4 | 2,07 |
| HWDP 5" | 17455 | 5 | 3 | 9,37 |
| HWDP 5" | 17471 | 5 | 3 | 9,37 |
| HWDP 5" | 17443 | 5 | 3 | 9,37 |
| HWDP 5" | 17551 | 5 | 3 | 9,37 |
| HWDP 5" | 17442 | 5 | 3 | 9,37 |
| HWDP 5" | 17470 | 5 | 3 | 9,38 |
| HWDP 5" | 17441 | 5 | 3 | 9,38 |
| HWDP 5" | 17476 | 5 | 3 | 9,38 |
| HWDP 5" | 17436 | 5 | 3 | 9,38 |
| HWDP 5" | 17465 | 5 | 3 | 9,38 |
| HWDP 5" | 17478 | 5 | 3 | 9,37 |
| HWDP 5" | 17472 | 5 | 3 | 9,37 |
| HWDP 5" | 17437 | 5 | 3 | 9,37 |
| **TOTAL** | | | | 190,26 |

Conjunto de Fondo, Sección 8 1/2", BHA 37, 5400m-6200m
RIH: Perforar

| DESCRIPCION | N° SERIE | OD (in) | ID (in) | LARGO (m) |
|---|---|---|---|---|
| Trép #22 AG545 HTC | 400914 | 8 1/2 | | 0,29 |
| Bit Sub | 175-BS-601 | 6 1/2 | 2 7/8 | 0,90 |
| Drill Collar 6 1/2" | H&P 003 | 6 1/2 | 2 1/2 | 9,46 |
| Drill Collar 6 1/2" | H&P 009 | 6 9/16 | 2 1/2 | 9,47 |
| Drill Collar 6 1/2" | H&P 001 | 6 1/2 | 2 1/2 | 9,47 |
| X-O | H&P 082 | 6 1/2 | 2 13/16 | 1,52 |
| HWDP 5" | 17452 | 5 | 3 | 9,37 |
| HWDP 5" | 17447 | 5 | 3 | 9,47 |
| HWDP 5" | 16415 | 5 | 3 | 9,47 |
| Jar Sub | FCS 65204 | 6 9/16 | 2 1/4 | 2,07 |
| Jar | 33965656 | 6 9/16 | 2 1/4 | 4,84 |
| Jar Sub | FCS 65206 | 6 9/16 | 2 1/4 | 2,07 |
| HWDP 5" | 17455 | 5 | 3 | 9,37 |
| HWDP 5" | 17471 | 5 | 3 | 9,37 |
| HWDP 5" | 17443 | 5 | 3 | 9,37 |
| HWDP 5" | 17551 | 5 | 3 | 9,37 |
| HWDP 5" | 17442 | 5 | 3 | 9,37 |
| HWDP 5" | 17470 | 5 | 3 | 9,38 |
| HWDP 5" | 17441 | 5 | 3 | 9,38 |
| HWDP 5" | 17476 | 5 | 3 | 9,38 |
| HWDP 5" | 17436 | 5 | 3 | 9,38 |
| HWDP 5" | 17465 | 5 | 3 | 9,38 |
| HWDP 5" | 17478 | 5 | 3 | 9,37 |
| HWDP 5" | 17472 | 5 | 3 | 9,37 |
| HWDP 5" | 17437 | 5 | 3 | 9,37 |
| **TOTAL** | | | | 190,26 |

Conjunto de Fondo, Sección 8 1/2", BHA 38, 6200m-6200m
RIH: Normalizar

| DESCRIPCION | N° SERIE | OD (in) | ID (in) | LARGO (m) |
|---|---|---|---|---|
| Trép #21RR G447XL | 400914 | 8 1/2 | | 0,29 |
| Near Bit Stabilizer | SB 263 | 6 1/2 | Float bore | 1,84 |
| Short Drill Collar | SP-701-47 | 6 1/2 | 2 1/4 | 2,54 |
| Stabilizer | SB 264 | 6 1/2 | 2 1/4 | 1,63 |
| Drill Collar 6 1/2" | H&P 006 | 6 1/2 | 2 1/2 | 9,46 |
| Stabilizer | SB 265 | 6 15/32 | 2 1/2 | 1,45 |
| Drill Collar 6 1/2" | H&P 016 | 6 1/2 | 2 1/2 | 9,46 |
| Drill Collar 6 1/2" | H&P 002 | 6 1/2 | 2 1/2 | 9,46 |
| Drill Collar 6 1/2" | H&P 019 | 6 1/2 | 2 1/2 | 9,45 |
| Drill Collar 6 1/2" | H&P 017 | 6 1/2 | 2 1/2 | 9,46 |
| Drill Collar 6 1/2" | H&P 008 | 6 1/2 | 2 1/2 | 9,46 |

**Continuación del cuadro anterior**

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Drill Collar 6 1/2" | H&P 011 | 6 1/2 | 2 1/2 | 9,34 |
| Drill Collar 6 1/2" | H&P 018 | 6 1/2 | 2 1/2 | 9,46 |
| Drill Collar 6 1/2" | H&P 018 | 6 1/2 | 2 1/2 | 1,52 |
| HWDP 5" | 17452 | 5 | 3 | 9,37 |
| HWDP 5" | 17447 | 5 | 3 | 9,47 |
| HWDP 5" | 16415 | 5 | 3 | 9,47 |
| Jar Sub | FCS 65204 | 6 9/16 | 2 1/4 | 2,07 |
| Jar | 33965656 | 6 9/16 | 2 1/4 | 4,84 |
| Jar Sub | FCS 65206 | 6 9/16 | 2 1/4 | 2,07 |
| HWDP 5" | 17455 | 5 | 3 | 9,37 |
| HWDP 5" | 17471 | 5 | 3 | 9,37 |
| HWDP 5" | 17443 | 5 | 3 | 9,37 |
| HWDP 5" | 17551 | 5 | 3 | 9,37 |
| HWDP 5" | 17442 | 5 | 3 | 9,37 |
| HWDP 5" | 17470 | 5 | 3 | 9,37 |
| HWDP 5" | 17441 | 5 | 3 | 9,38 |
| HWDP 5" | 17476 | 5 | 3 | 9,38 |
| HWDP 5" | 17436 | 5 | 3 | 9,38 |
| **TOTAL** | | | | 206,47 |

Conjunto de Fondo, Sección 8 1/2", BHA 39, 6200m-6200m
RIH: Normalizar

| DESCRIPCION | N° SERIE | OD (in) | ID (in) | LARGO (m) |
|---|---|---|---|---|
| Trép #21RR G447XL | 400914 | 8 1/2 | | 0,29 |
| Near Bit Stabilizer | SB 263 | 6 1/2 | Float bore | 1,84 |
| Short Drill Collar | SP-701-47 | 6 1/2 | 2 1/4 | 2,54 |
| Stabilizer | SB 264 | 6 1/2 | 2 1/4 | 1,63 |
| Drill Collar 6 1/2" | H&P 006 | 6 1/2 | 2 1/2 | 9,46 |
| Stabilizer | SB 265 | 6 15/32 | 2 1/2 | 1,45 |
| Drill Collar 6 1/2" | H&P 016 | 6 1/2 | 2 1/2 | 9,46 |
| Drill Collar 6 1/2" | H&P 002 | 6 1/2 | 2 1/2 | 9,46 |
| Drill Collar 6 1/2" | H&P 019 | 6 1/2 | 2 1/2 | 9,45 |
| Drill Collar 6 1/2" | H&P 017 | 6 1/2 | 2 1/2 | 9,46 |
| Drill Collar 6 1/2" | H&P 008 | 6 1/2 | 2 1/2 | 9,46 |
| Drill Collar 6 1/2" | H&P 011 | 6 1/2 | 2 1/2 | 9,34 |
| Drill Collar 6 1/2" | H&P 018 | 6 1/2 | 2 1/2 | 9,46 |
| Drill Collar 6 1/2" | H&P 018 | 6 1/2 | 2 1/2 | 1,52 |
| HWDP 5" | 17452 | 5 | 3 | 9,37 |
| HWDP 5" | 17447 | 5 | 3 | 9,47 |
| HWDP 5" | 16415 | 5 | 3 | 9,47 |
| Jar Sub | FCS 65204 | 6 9/16 | 2 1/4 | 2,07 |
| Jar | 33965656 | 6 9/16 | 2 1/4 | 4,84 |

**Continuación del cuadro anterior**

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Jar Sub | FCS 65206 | 6 9/16 | 2 1/4 | 2,07 |
| HWDP 5" | 17455 | 5 | 3 | 9,37 |
| HWDP 5" | 17471 | 5 | 3 | 9,37 |
| HWDP 5" | 17443 | 5 | 3 | 9,37 |
| HWDP 5" | 17551 | 5 | 3 | 9,37 |
| HWDP 5" | 17442 | 5 | 3 | 9,37 |
| HWDP 5" | 17470 | 5 | 3 | 9,37 |
| HWDP 5" | 17441 | 5 | 3 | 9,38 |
| HWDP 5" | 17476 | 5 | 3 | 9,38 |
| HWDP 5" | 17436 | 5 | 3 | 9,38 |
| **TOTAL** | | | | 206,47 |

Conjunto de Fondo, Sección 8 1/2", BHA 40, 6200m-6202m
RIH: Rota tapón

| DESCRIPCION | N° SERIE | OD (in) | ID (in) | LARGO (m) |
|---|---|---|---|---|
| Trép #23 R-7 | V41CD | 8 1/2 | | 0,24 |
| Junk Basket | 19001 | 6 1/2 | Float bore | 0,82 |
| Near Bit Stabilizer | SB 263 | 6 1/2 | 2 1/4 | 1,84 |
| Short Drill Collar | SP-701-47 | 6 1/2 | 2 1/4 | 2,54 |
| Stabilizer | SB 264 | 6 1/2 | 2 1/2 | 1,63 |
| Drill Collar 6 1/2" | H&P 006 | 6 15/32 | 2 1/2 | 9,46 |
| Stabilizer | SB 265 | 6 1/2 | 2 1/2 | 1,45 |
| Drill Collar 6 1/2" | H&P 016 | 6 1/2 | 2 1/2 | 9,46 |
| Drill Collar 6 1/2" | H&P 002 | 6 1/2 | 2 1/2 | 9,46 |
| Drill Collar 6 1/2" | H&P 019 | 6 1/2 | 2 1/2 | 9,45 |
| Drill Collar 6 1/2" | H&P 017 | 6 1/2 | 2 1/2 | 9,46 |
| Drill Collar 6 1/2" | H&P 008 | 6 1/2 | 2 1/2 | 9,46 |
| Drill Collar 6 1/2" | H&P 011 | 6 1/2 | 2 1/2 | 9,34 |
| Drill Collar 6 1/2" | H&P 018 | 6 1/2 | 2 13/16 | 9,46 |
| X-O | H&P 082 | 5 | 3 | 1,52 |
| HWDP 5" | A 18302 | 5 | 3 | 9,37 |
| Flex Joint | FCS 65204 | 5 | 3 | 2,07 |
| Jar | 33965656 | 6 9/16 | 2 1/4 | 4,84 |
| HWDP 5" | FCS 65206 | 6 9/16 | 2 1/4 | 2,07 |
| HWDP 5" | A 17438 | 6 9/16 | 2 1/4 | 9,38 |
| HWDP 5" | A 17495 | 5 | 3 | 9,38 |
| HWDP 5" | A 17454 | 5 | 3 | 9,38 |
| HWDP 5" | A 17484 | 5 | 3 | 9,38 |
| HWDP 5" | 18299 | 5 | 3 | 9,37 |
| HWDP 5" | A 17435 | 5 | 3 | 9,37 |
| HWDP 5" | A 17448 | 5 | 3 | 9,38 |
| HWDP 5" | A 17457 | 5 | 3 | 9,37 |

**Continuación del cuadro anterior**

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| HWDP 5" | A 17464 | 5 | 3 | 9,37 |
| HWDP 5" | A 17439 | 5 | 3 | 9,38 |
| HWDP 5" | A 17463 | 5 | 3 | 9,37 |
| **TOTAL** | | | | 207,07 |

Conjunto de Fondo, Sección 8 1/2", BHA 41, 6202m-6554m
RIH: Perforar

| DESCRIPCION | N° SERIE | OD (in) | ID (in) | LARGO (m) |
|---|---|---|---|---|
| Trép #24 BD 536 | 401735 | 8 1/2 | | 0,35 |
| Near Bit Stabilizer | SB263 | 6 1/2 | 2 1/4 | 1,84 |
| Short Drill Collar | SP-701-47 | 6 1/2 | 2 1/4 | 0,54 |
| Stabilizer | SB 264 | 6 1/2 | 2 1/2 | 1,63 |
| Drill Collar 6 1/2" | H&P 006 | 6 15/32 | 2 1/2 | 9,46 |
| ~~Stabilizer~~ | ~~SB 265~~ | ~~6 1/2~~ | ~~2 1/2~~ | ~~1,45~~ |
| Drill Collar 6 1/2" | H&P 016 | 6 1/2 | 2 1/2 | 9,46 |
| Drill Collar 6 1/2" | H&P 002 | 6 1/2 | 2 1/2 | 9,46 |
| Drill Collar 6 1/2" | H&P 019 | 6 1/2 | 2 1/2 | 9,45 |
| Drill Collar 6 1/2" | H&P 017 | 6 1/2 | 2 1/2 | 9,46 |
| Drill Collar 6 1/2" | H&P 008 | 6 1/2 | 2 1/2 | 9,46 |
| Drill Collar 6 1/2" | H&P 011 | 6 1/2 | 2 1/2 | 9,34 |
| Flex Joint | FCS 65205 | 5 | 3 | 2,17 |
| Jar | 33965656 | 6 9/16 | 2 1/4 | 4,73 |
| Flex Joint | FCS 65203 | 5 | 3 | 2,16 |
| Drill Collar 6 1/2" | H&P 018 | 6 1/2 | 2 13/16 | 9,46 |
| X-O | H&P 082 | 5 | 3 | 1,52 |
| HWDP 5" | A 18302 | 5 | 3 | 9,37 |
| HWDP 5" | A 17438 | 5 | 3 | 9,38 |
| HWDP 5" | A 17495 | 5 | 3 | 9,38 |
| HWDP 5" | A 17454 | 5 | 3 | 9,38 |
| HWDP 5" | A 17444 | 5 | 3 | 9,38 |
| HWDP 5" | 18299 | 5 | 3 | 9,37 |
| HWDP 5" | A 17435 | 5 | 3 | 9,37 |
| HWDP 5" | A 17448 | 5 | 3 | 9,38 |
| HWDP 5" | A 17457 | 5 | 3 | 9,37 |
| HWDP 5" | A 17464 | 5 | 3 | 9,38 |
| HWDP 5" | A 17439 | 5 | 3 | 9,37 |
| HWDP 5" | A 17463 | 5 | 3 | 9,37 |
| **TOTAL** | | | | 204,44 |

Conjunto de Fondo, Sección 8 1/2", BHA 45,
RIH: to C.C. @5118m

| DESCRIPCION | N° SERIE | OD (in) | ID (in) | LARGO (m) |
|---|---|---|---|---|
| Trép 8 1/2 FDT | LS 2198 | 8 1/2 | | 0,25 |
| Bit Sub | H&P 096 | 6 1/2 | 2 1/2 | 1,52 |
| Drill Collar 6 1/2" | H&P 006 | 6 1/2 | 2 1/2 | 9,46 |
| Drill Collar 6 1/2" | H&P 016 | 6 1/2 | 2 1/2 | 9,46 |
| Drill Collar 6 1/2" | H&P 002 | 6 1/2 | 2 1/2 | 9,46 |
| Drill Collar 6 1/2" | H&P 019 | 6 1/2 | 2 1/2 | 9,45 |
| Drill Collar 6 1/2" | H&P 017 | 6 1/2 | 2 1/2 | 9,46 |
| Drill Collar 6 1/2" | H&P 008 | 6 1/2 | 2 1/2 | 9,46 |
| Drill Collar 6 1/2" | H&P 011 | 6 1/2 | 2 1/2 | 9,34 |
| Drill Collar 6 1/2" | H&P 018 | 6 1/2 | 2 1/2 | 9,46 |
| X-O | H&P 082 | 6 1/2 | 2 13/16 | 1,52 |
| HWDP 5" | A 18302 | 5 | 3 | 9,37 |
| HWDP 5" | A 17438 | 5 | 3 | 9,38 |
| HWDP 5" | A 17495 | 5 | 3 | 9,38 |
| HWDP 5" | A 17454 | 5 | 3 | 9,38 |
| HWDP 5" | A 17444 | 5 | 3 | 9,38 |
| HWDP 5" | 18299 | 5 | 3 | 9,37 |
| HWDP 5" | A 17435 | 5 | 3 | 9,37 |
| HWDP 5" | A 17448 | 5 | 3 | 9,38 |
| HWDP 5" | A 17457 | 5 | 3 | 9,37 |
| HWDP 5" | A 17464 | 5 | 3 | 9,37 |
| HWDP 5" | A 17439 | 5 | 3 | 9,38 |
| HWDP 5" | A 17463 | 5 | 3 | 9,37 |
| **TOTAL** | | | | 191,34 |

**Fuente:** Reporte final Pan American Energy DRD X-1001 el dorado Bolivia, julio 1999

**DATOS DEL POZO DRD X-1004:**

**Área:** El Dorado
**Cuenca:** Tarija
**Pozo:** Dorado X-1004 (DRD X-1004)
**Estructura:** Anticlinal El Dorado
**Ubicación geográfica:** Prov. Cordillera, Dpto. Santa Cruz
**Ubicación fisiográfica:** Llanura Chaqueña
**OBJETIVOS DE LA PERFORACION:** Fm. Iquiri: Arenisca Tacobo y Guanacos.

**Coordenadas Superficie UTM:**
**X:** 488700
**Y:** 7963400
**Zt:** 441,60m
**Nivel de planchada Zt:** 435
**Profundidad Final TVD: 4223,56m**
**Metraje MD:** 4233m
**EQUIPO DE PERFORACION:**
**CIA/N°:** PRIDE 379 **MARCA:** Gardner Denver **POTENCIA:** 1500HP **TDS:** Maritime Hyd **PTD** (1X355/410)

**ARREGLOS DE HERRAMIENTA BHA**

| N° | TRAMO/PROF * (m) | ARREGLO |
|---|---|---|
| 1 | 0-501<br>Perforación | Trép 17 ½” + 17 3/8” Turbo Pack + MF cuadrado 15 ½” (Stabeco) + STB 17 3/8” + PM 9 ½” + XO + 3PM 8” + XO + 15 HW 5” |
| 2 | 501-1660<br>Perforación | Trép 12 ¼” + MF cuadrado 8 ¾” (Stabeco) + STB 12 1/8” + Sub Teledrift 8” + PM 8” + STB 12 1/8” + 6 PM 8” + Tijera 6 ½” + 3 PM 8” + XO + 15 HWDP 5” |
| 3 | 1660<br>Calibración | Trép 12 ¼” + 3 bit sub 7 13/16” + PM 8” + STB 12 1/8” + Short PM 8” + PM 8” + STB 12 1/8” + 6 PM 8” + Tijera 6 ½” + 3 PM 8” + XO + 15 HWDP 5” |
| 4 | 1660-2641,5<br>Perforación | Trép 8 ½” + MF cuadrado 8 3/8” + STB 8 3/8” + Teledrift 6 ½” + PM 6 ½” + STB 8 3/8” + 9 PM 6 ½” + XO + 15 HWDP 5” |
| 5 | 2641,5<br>Calibración | Trép 8 ½” + Bit sub 4,687” + PM 6 ½” + STB 8 3/8” + PM 6 ½” + STB 8 3/8” + 6 PM 6 ½” + Tijera 6 ½” + 3 PM 6 ½” + XO + 15 HWDP 5” |
| 6 | 2641,5<br>Pesca | Overshot 8 1/8” (Agarre espiral 6 ¾”, control 7”) + Bumper sub 6 ¼” + Tijera 6 ½” + XO + 6 PM 6 ½” + XO + 15 HWDP 5” |
| 7 | 2641,5<br>Pesca | Overshot 8 1/8” (Agarre espiral 6 5/8”, control 7”) + Bumper sub 6 ¼” + Tijera 6 ½” + XO + 6 PM 6 ½” + XO + 15 HWDP 5” |
| 8 | 2641,5-2885<br>Perforación | Trép 8 ½” + MF 6 ¾” + STB 8 3/8”+ Teledrift 6 ½”+ PM 6 ½” + STB 8 3/8” + 9 PM 6 ½” + Tijera 6 ½” + 6 PM 6 ½” + XO + 15 HWDP 5” |
| 9 | 2885-3274<br>Perforación | Trép 8 ½” + NB Roller Reamer 8 7/16” + MF cuadrado 8 3/8” + STB 8 3/8” + Teledrift 6 ½” + Monel 6 ½” + STB 8 3/8” + Shock sub 6 9/16” + 9 Pm 6 ½” + Tijera 6 ½” + 6 PM 6 ½” + XO + 15 HWDP 5” |
| 10 | 3274-3460<br>Perforación | Trép 8 ½” + NB Roller Reamer 8 3/8” + MF cuadrado 8 3/8” + Shock sub 6 5/8” + STB 8 3/8” + Teledrift 6 ½” + Monel 6 ½” + STB 8 3/8” + 12 Pm 6 ½” + Tijera 6 ½” + 6 PM 6 ½” + XO + 15 HWDP 5” |

**Continuación del cuadro anterior**

| | | |
|---|---|---|
| 11 | 3460-3714 Perforación | Trép 8 ½" + NB Roller Reamer 8 3/8" + MF cuadrado 8 3/8" + Shock sub 6 5/8" + STB 8 3/8" + Teledrift 6 ½" + Monel 6 ½" + STB 8 3/8" + 12 Pm 6 ½" + Tijera 6 ½" + 6 PM 6 ½" + XO + 15 HWDP 5" |
| 12 | 3714-3833 Perforación | Trép 8 ½" + NB Roller Reamer 8 7/16" + MF cuadrado 8 3/8" + Shock sub 6 5/8" + STB 8 3/8" + Teledrift 6 ½" + Monel 6 ½" + STB 8 3/8" + 12 Pm 6 ½" + Tijera 6 ¾" + 6 PM 6 ½" + XO + 15 HWDP 5" |
| 13 | 3883-3908 Perforación | Trép 8 ½" + NB Roller Reamer 8 7/16" + MF cuadrado 8 3/8" + Shock sub 6 5/8" + STB 8 3/8" + Teledrift 6 ½" + Monel 6 ½" + STB 8 3/8" + 12 Pm 6 3/4" + Tijera 6 ¾" + 6 PM 6 ½" + XO + 15 HWDP 5" |
| 14 | 3908-4170 Perforación | Trép 8 ½" + NB Roller Reamer 8 7/16" + MF cuadrado 8 3/8" + Shock sub 6 5/8" + STB 8 3/8" + Short PM 6 ½" + PM 6 ½" + STB 8 3/8" + 12 Pm 6 ½" + Tijera 6 ¾" + 6 PM 6 ½" + XO + 15 HWDP 5" |
| 15 | 4170-4210 Perforación | Trép 8 ½" + Bit sub 6 5/8" + PM 6 ½" + STB 8 3/8" + PM 6 ½" + STB 8 3/8" + 9 PM 6 ½" + Tijera de 6 3/8" + 3 PM 6 ½" + XO + 6 HWDP 5" |
| 16 | 4210 Acondicionar agujero para registro | Trép 8 ½" + Bit sub 6 5/8" + PM 6 ½" + STB 8 3/8" + PM 6 ½" + STB 8 3/8" + 6 PM 6 ½" + Tijera de 6 3/8" + 3 PM 6 ½" + XO + 6 HWDP 5" |
| 17 | 4210-4233 Perforación | Trép 8 ½" + Bit sub 6 5/8" + PM 6 ½" + STB 8 3/8" + PM 6 ½" + STB 8 3/8" + 9 PM 6 ½" + Tijera de 6 3/8" + 3 PM 6 ½" + XO + 9 HWDP 5 " |
| 18 | 4233 (Balanceo Píldora Form. A-plug) | Diverter 2 7/8" + XO + 21 Tub 2 7/8" PH-6 + XO + XO |
| 19 | 4233 (Reperfora CMT + Accesorios) | Trép 6" + Bit sub + PM 6 ¾" + Watermellon 6" + PM 6 ¾" + STB 6" + 7 PM 4 ¾" + 9 HWDP 3 ½" + Tijera 4 ¾" + 6 HWDP 3 ½" |
| 20 | 4233 (Acondicionar para bajar liner) | Trép 6" + Bit sub + PM 6 ¾" + Watermellon 6" + PM 6 ¾" + STB 6" + 7 PM 4 ¾" + 9 HWDP 3 ½" + Tijera 4 ¾" + 3 HWDP 3 ½" |
| 21 | 4233 Reperforar cemento | Trép 4 1/8" + Bit sub + PM 3 1/8" + STB 3 1/2" + PM 3 1/8" + STB 3 1/8" + 8 PM 4 ¾" + XO + 79 PM 2 7/8" + XO |
| 22 | 3625 (Squeeze boca de liner) | 22 Tub 2 7/8" + XO + Packer 7" + XO |
| 23 | 3427 (limpieza cemento) | Trép 6" + Bit sub + 6 PM 4 ¾" + 6 HWDP 3 ½" + DP 3 ½" |
| 24 | 4233 (Limpieza cemento) | Trép 4 1/8" + Bit sub + 10 PM 3 1/8" + XO + 76 DP 2 7/8" + XO |

## CAÑERIAS

| Tramo (m) | Long. (m) | Díam. (in) | Características | | | | Propiedades | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Peso (lb/ft) | Grado | Cupla | Rosca | Colapso | Reventón | Tensión |
| 0-499 | 499 | 13 3/8 | 54,5 | J-55 | STC | 8RD | 1130 | 2730 | 54000 |
| 0-1471 | 1471 | 9 5/8 | 40 | K-55 | BTC | BTC | 2570 | 3950 | 63000 |
| 0-3523 | 3523 | 7 | 24 | P-110 | | ANJO | 8530 | 11220 | 727000 |
| 3427-4174,5 | 747 | 5 | 18 | N-80 | | ANJO | 10493 | 10136 | 396000 |

## LODO

| FASE | TIPO DE LODO | DENSIDAD (ppg) |
|---|---|---|
| 17 ½” | Bentonítico Extendido | 8,6-8,8 |
| 12 ¼” | Bentonítico Extendido | 8,8-8,9 |
| 8 ½” | Drillplex | 8,8-9,8 |
| Terminación | KCl | 9,6-9,0 |

**Fuente:** informe final de perforación y terminación Chaco s.a.

Pozo el dorado x-1004

## DATOS DEL POZO DRD-1005:

**Área:** El Dorado
**Cuenca:** Tarija
**Pozo:** Dorado 1005 (DRD-1005)
**Estructura:** Anticlinal El Dorado
**Clasificación del pozo:** Pozo de desarrollo B-1
**Ubicación geográfica:** Prov. Cordillera, Dpto. Santa Cruz
**Ubicación geológica:** Núcleo Anticlinal El Dorado, Piedemonte de la faja plegada y corrida subandina.
**Ubicación fisiográfica:** Llanura Chaqueña
**OBJETIVOS DE LA PERFORACION:**
**Objetivo Principal:** Drenar las reservas asociadas a la Arenisca Guanacos, miembro de la Fm. Iquiri (Devónico Superior)
**Objetivo Secundario:** Evaluar niveles arenosos del Carbonífero Inferior.
**Resultado del pozo:** Productor de gas y condensado de la Ar. Guanacos.

**Coordenadas Superficie UTM:**
490403,0m E
7963485,0m N
**Coordenadas Fondo Pozo UTM:**
490396,84m E
7963484m27m N
**Elevación:**
**Nivel de planchada Zt:** 435
**Mesa rotaria Zr:** 491,4
**Inicio de perforación del pozo:** 01/06/2010
**Final de perforación del pozo:** 12/07/2010
**Profundidad Final Perforación:** 4164m MD
**Profundidad Final Perfilaje:** 4163m MD
**RESULTADO DEL POZO:** Productor de gas y condensado de la Arenisca Guanacos.
**ESTADO ACTUAL DEL POZO:** Con arreglo de producción final en la arenisca Guanacos, con arreglo simple (Tubería PJD de 3 ½")

## DATOS DEL EQUIPO:

**Equipo:** SAI Rig 379 Tool pusher
**Tipo:** Gardner Denver DW 1100, 1500Hp con TDS
Maritime Hyd PTD (1x355/410)

## REVESTIMIENTOS:

| Intervalo (m) | Diámetro (in) | Formaciones |
|---|---|---|
| 0-670 | 13 3/8 | Superficie-Tariquía |
| 670-3006 | 9 5/8 | Tariquía-Tarija |
| 3006-4164 | 7 | Tarija-Iquiri |

**LODO DE PERFORACION:**

| **Fase** | **Tipo de Lodo** | **Densidad (ppg)** |
|---|---|---|
| 17 ½” | Lodo base agua Drillplex | 8,8-8,9-9,0 |
| 12 ¼” | Lodo base agua Klashield | 8,7-8,8-9,0-9,1 |
| 8 ½” | Lodo base agua FLO-PRO NT | 9,5-9,8-10,7-11,2 |
| Completación | Formiato de K & Na | |

**Fuente:** Informe geológico final Pozo El Dorado 1005 Empresa petrolera YPFB Chaco